

EINFLUSS PASSIVER ULTRASCHALLAKTIVIERTER SPÜLUNG AUF DAS TEMPERATURVERHALTEN DER SPÜLFLÜSSIGKEIT IM WURZELKANAL IN VITRO

ALI DURAN

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereiches Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2009

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2009

© 2009 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

**Einfluss passiver ultraschallaktivierter Spülung
auf das Temperaturverhalten der Spülflüssigkeit
im Wurzelkanal in vitro**

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereiches Medizin der
Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Ali Duran
aus Bocholt

Gießen 2009

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde
Funktionsbereich Endodontie
Leiter: Prof. Dr. C. Koçkapan
Des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH,
Standort Gießen

Gutachter: Prof. Dr. C. Koçkapan

Gutachter: PD Dr. M. Nedelmann

Tag der Disputation: 29.06.2009

Für meine Familie

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Literaturübersicht	5
2.1 Anatomie des Wurzelkanals	5
2.2 Ziel der Wurzelkanalaufbereitung	6
2.3 Formen der Wurzelkanalaufbereitung	7
2.3.1 Mechanische Aufbereitung	7
2.3.2 Chemische Aufbereitung	9
2.3.3 Natriumhypochlorit	10
2.3.4 Applikation der Spüllösung	12
2.4 Ultraschallaktivierung	14
3 Material und Methode	17
3.1 Auswahlkriterien der Versuchsobjekte	17
3.2 Herstellung der Proben	17
3.2.1 Trepanation und Erschließung des Wurzelkanals	17
3.2.2 Aufbereitung des Wurzelkanals	18
3.2.3 Messung des Wurzelkanalvolumens	20
3.2.4 Definition der Messstellen	21
3.3 Versuchsaufbau	22
3.3.1 Thermoelement	23
3.3.2 Piezon Master 400®	23
3.4 Vorversuche	24
3.5 Hauptversuche	24
3.5.1 Versuchsgruppen	24
3.5.2 Vorbereitende Maßnahmen	25
3.5.3 Versuchsdurchführung	28
3.6 Schematischer Versuchsablauf	31
3.7 Statistische Methoden	32
4 Ergebnisse	33
4.1 Allgemeines	33

4.2 Temperaturveränderung des verwendeten Instruments	35
4.2.1 Kerr-Feile ISO-Größe 15	35
4.2.2 Kerr-Feile ISO-Größe 25	38
4.2.3 Fingerspreader ISO-Größe 15	38
4.2.4 Fingerspreader ISO-Größe 25	39
4.3 Einfluss der Größe	40
4.4 Einfluss der Lage.....	40
4.5 Einfluss der Methode.....	40
4.6 Einfluss des verwendeten Instrumentes.....	41
4.7 Kontinuierliche Spülung.....	41
4.8 Volumen des Wurzelkanals	41
5 Diskussion.....	42
5.1 Diskussion der Methode.....	42
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	44
6 Zusammenfassung.....	52
7 Summary.....	54
8 Literaturverzeichnis	56
9 Anhang	75
10 Danksagung.....	95
11 Lebenslauf.....	96

1 Einleitung

Die Endodontie ist ein Teilgebiet der konservierenden Zahnheilkunde. Sie ist das Fachgebiet, das sich mit der Prophylaxe, Ätiologie, Diagnose und Therapie der pulpalen und periapikalen Erkrankungen beschäftigt. Die Endodontie umfasst ein weites Gebiet, das bei der richtigen Versorgung der Dentinwunde beginnt und mit chirurgischen Eingriffen am Periapex endet [40].

Es ist seit längerem bekannt, dass einer apikalen Läsion eine mikrobielle Ursache zu Grunde liegt [50]. Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist eine effiziente Reinigung und die Formgebung des Kanals zur Entfernung infizierten Dentins und zur besseren Aufnahme des Füllmaterials. Im Vordergrund steht hier die Entfernung von nekrotischen und mit Bakterien infizierten Geweberesten. Eine vollständige Instrumentierung der Kanalwände ist trotz gründlicher Aufbereitung nicht möglich. Es bleiben immer noch nicht instrumentierte Areale übrig. Aus diesem Grund wird die mechanische Aufbereitung durch reichliche Spülung unterstützt und man spricht von einer chemo-mechanischer Aufbereitung. Daher haben sich in den vergangenen Jahren die wissenschaftlichen Untersuchungen insbesondere auf die Spüllösungen konzentriert, somit auf den chemischen Reinigungs- und Desinfektionsweg. Allen voran ist Natriumhypochlorit (NaOCl) zu nennen. Aufgrund seiner Fähigkeit, organisches Material aufzulösen und den Wurzelkanal zu desinfizieren, ist es zum Mittel der Wahl geworden.

Wie Ram [81] bereits feststellte, gelangen Spüllösungen mit herkömmlichen Methoden nur einen Millimeter tiefer als die Kanüle in den Wurzelkanal, daher galt es, Systeme zu entwickeln, die die Spüllösungen über das gesamte Wurzelkanalsystem transportieren können. Die passive ultraschallaktivierte Spülung (PUI) gehört zu den neueren Methoden, um das Wurzelkanalsystem effektiver zu reinigen [111]. Martin et al. [60] fanden nämlich heraus, dass Ultraschall und NaOCl gegenseitig ihre Wirkung der effektiven Reinigung

verstärken. Zusätzlich kann die gewebeauflösende Wirkung von NaOCl durch die Erwärmung der Spüllösung noch gesteigert werden [25,26].

Die passive Ultraschallspülung beruht auf der Weiterleitung der Ultraschallenergie von einem schwingenden Instrument in die Spüllüssigkeit. Während des Vorgangs treten akustische Mikroströmungen und/oder Kavitationen auf. Es gibt Hinweise in der Literatur, dass die Ultraschallaktivierung einen Einfluss auf die Temperatur der Spüllösung im Kanal hat [3,20,25,37,111]. Die Studie von Cameron von 1988 sollte näher beschrieben werden, da sie die einzige Arbeit ist, in der die Temperaturentwicklung bei zwei Spülmethoden, der intermittierenden und der kontinuierlichen Spülung untersucht wurde. Während der Ultraschallaktivierung wurde in dem Wurzelkanal und außerhalb, auf der Wurzeloberfläche, und an zwei Messpunkte (apikal und koronal) gemessen. Beide Messpunkte wurden an einem Zahn gleichzeitig mit je einem Durchlauf gemessen. Bei der intermittierenden Spülmethode wurde im apikalen Bereich ein Temperaturmaximum von 45°C im Kanal und von 40°C auf der Wurzeloberfläche erreicht. Bei der kontinuierlichen Spülmethode wurde eine negative Temperaturentwicklung beobachtet [20].

Es ist jedoch noch nicht geklärt, ob die Instrumentenart, die Instrumentengröße, die angewandte Methode, die Art der Energieübertragung, oder auch der Bereich im Kanal einen Einfluss hat. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, das Temperaturverhalten der Spüllösung im Wurzelkanal während der passiven Ultraschallaktivierung in einem In-vitro-Versuch in einem temperierten Wasserbad auf den Einfluss von verschiedenen Instrumententypen, verschiedener Instrumentengrößen, verschiedener Lagen in dem Wurzelkanal und unterschiedliche Aktivierungsarten zu untersuchen.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie des Wurzelkanals

Der Begriff Wurzelkanalsysteme geht auf Hess [39] sowie Meyer und Scheele [69] zurück, die darauf hinwiesen, dass sich die idealisierte Darstellung des Wurzelkanals in Lehrbüchern von der Wirklichkeit stark unterscheidet. So ist der Wurzelkanal nach Meyer [68] kein einfaches, gerades, parallelwandiges, monotones Rohr mit rundem Querschnitt, sondern in aller Regel vielgestaltig und seine Form ist schwer vorhersagbar. Meyer und Hülsmann [67] beschreiben den Wurzelkanal als ein morphologisch höchst differenziertes Kanalsystem, das sich in jedem menschlichen Zahn anders darstellt. Das Endodont stellt vor allem in der Apikalregion ein höchst komplexes dreidimensionales Kanalsystem mit zahlreichen Seitenkanälen, Buchten und Nischen, blind endenden Divertikeln und Anastomosen (feine oder isthmusartige Verbindungen) der einzelnen Kanäle untereinander dar [10]. Der Kanalquerschnitt ist in den meisten Kanalanteilen nicht kreisrund, sondern oval-elliptisch, selten dreieckig, c-förmig oder irregulär [10]. Aufgrund dieser äußerst unregelmäßigen Form, insbesondere bei Prämolaren und Molaren, wird treffender anstelle des Begriffs „Wurzelkanal“ vom „Wurzelkanalsystem“ gesprochen [87]. Zu allen die Zahnwurzel umgebenden Gewebestrukturen hin ist das Kanalsystem offen [67,93]. In mehr als 70% der Fälle sind im apikalen Bereich deltaförmige Aufgabelungen des Hauptwurzelkanals (apikale Ramifikationen, apikales Delta) vorhanden [38,68] und als zahlreiche kleinere Mündungen (periphere Foramina) am Foramen apicale erkennbar [10]. Seitenkanäle, die im koronalen oder mittleren Wurzeldrittel den Hauptwurzelkanal verlassen, verlaufen als laterale oder sekundäre Kanäle horizontal. Sie kommen bei etwa 70% aller Zähne vor; bei Frontzähnen sind sie seltener als bei Molaren [38]. Somit liegt die große Herausforderung der Wurzelkanalbehandlung darin das Wurzelkanalsystem vollständig zu desinfizieren [42].

2.2 Ziel der Wurzelkanalaufbereitung

Die klassische Wurzelkanalbehandlung besteht aus zwei zentralen Schritten; zum einen der chemomechanische Aufbereitung und zum anderen der Formgebung des Wurzelkanals [42]. Durch die Wurzelkanal desinfektion soll eine möglichst vollständige Elimination der Bakterien, die Entfernung von Debris und verbliebenem Pulpagewebe und eine adäquate Wurzelfüllung ermöglichende Formgebung des Wurzelkanals erfolgen. Diese Ziele werden im Konsenspapier der European Society of Endodontology [55] zusammengefasst.

Bei einer Pulpanekrose sind Bakterien bis in die Tiefe von 1,2 mm im Dentin, sogar manchmal bis fast hin zur Dentin-Zement-Grenze nachweisbar [78]. Einige andere Autoren beschreiben die Penetrationstiefe der Bakterien in den Dentinkanälchen bis zu 0,25 mm [11,64,89,97]. Insbesondere *Enterococcus faecalis* wird in diesen Tiefen nachgewiesen; es ist eines der resistentesten Mikroorganismen, die in infizierten Kanälen gefunden wurden [58]. Infolgedessen ist eine bis in die Tiefe der Dentintubuli reichende Reinigung als mitentscheidend für den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung anzusehen. Allerdings ist eine vollständige Eliminierung durch mechanische Aufbereitung, aufgrund der durch den Substanzverlust bedingten mangelnden Zahnstabilität, meist nicht möglich [42]. Deshalb ist bei der Desinfektion des Wurzelkanals eine Kombination des abtragenden Vorgehens mit chemisch- desinfizierenden Verfahren angezeigt [15]. Die Verwendung von Spüllösungen während der Wurzelkanalaufbereitung soll nekrotisches Pulpagewebe und Dentinspäne aus dem Kanal herausschwemmen [42]. Die Spüllösung soll desinfizierend und gewebeauflösend wirken, wobei die Seitenkanäle mit desinfiziert werden sollen.

2.3 Formen der Wurzelkanalaufbereitung

2.3.1 Mechanische Aufbereitung

Das Ziel der mechanischen Aufbereitung ist zum einen die Formgebung des Wurzelkanals, zum anderen soll durch die Aufbereitungsform möglichst viel vom infizierten Gewebe entfernt werden. Während der Formgebung soll bei der Präparation des Wurzelkanals die ursprüngliche Form des Kanals vereinfacht werden, indem z.B. Unterschnitte entfernt, aber entscheidende Kriterien, wie z.B. die Kanalkrümmung unbedingt beibehalten werden. Der bearbeitete Kanal soll sich optimalerweise von apikal nach koronal konisch verbreitern [86,115,118,119]. Aufgrund der hohen Individualität der Anatomie des Wurzelkanalsystems und der Tatsache, dass das Endodont über die Dentintubuli bis an die Zement-Dentin-Grenze reicht und mit der Mundhöhle bei freiliegendem Dentin kommunizieren kann, liegt ein sehr variables räumliches System vor [93], welches während der Kanalaufbereitung, trotz akribischen Vorgehens bei der mechanischen Aufbereitung, oft nicht vollständig instrumentiert werden kann [44].

Die mechanische Aufbereitung kann grob in zwei Techniken unterteilt werden: die manuellen und die maschinellen Aufbereitungsmethoden [87]. Zu den bekanntesten manuellen Aufbereitungstechniken gehören die Step-Back-Technik und die Crown-Down-Technik, die sowohl mit Edelmetallinstrumenten als auch mit NiTi-Instrumenten durchgeführt werden kann. Die Anforderungen der manuellen Aufbereitung gelten auch für das maschinelle Aufbereitungskonzept. Seit ROLLINS im Jahre 1899 erstmals eine maschinelle Aufbereitung mit 100 U/min beschrieb, gab es seit Beginn des Jahrhunderts weitere Systeme, die die manuelle Aufbereitung ablösen sollten. Hülsmann legte 1993 die Kriterien zur Beurteilung maschineller Aufbereitungshilfen fest, die aber um die Antriebsart, Drehmomentkontrolle und Softwareeinbindung

erweitert werden sollten [41]. Auch hier gibt es eine Palette von Produkten, die unterschiedlich in der Arbeitsweise, Drehmoment und den verwendeten Instrumenten sind.

Bis zum Ende der achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts war die manuelle Aufbereitung der maschinellen Aufbereitung überlegen, da diese aufwendig, störanfällig und mit einer hohen Bruchgefahr der Instrumente verbunden war [34]. Durch die Weiterentwicklung von NiTi (Nitinol)-Instrumenten und drehzahl-/drehmomentbegrenzten Antriebsmotoren liegen mittlerweile Studien mit guten Ergebnissen vor [9]. In zahlreichen Untersuchungen stellte sich besonders bei der Aufbereitung von stark gekrümmten Kanälen heraus, dass NiTi-Feilen den Edelstahl-Handinstrumenten überlegen sind. Sie ermöglichen nicht nur qualitativ besser formgetreu aufbereitete Wurzelkanäle [91,92], sondern erleichtern auch den Arbeitsablauf und verkürzen die Arbeitszeit. Eine eindeutige Empfehlung ist nicht möglich, weil mit jeder Technik gute Resultate erzielt werden können. Schließlich bleibt es der Erfahrung eines jeden Behandlers überlassen, für welches System er sich entscheidet.

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden NiTi-Instrumenten ist zu einem festen Bestandteil des endodontischen Behandlungsspektrums geworden [72]. Jedoch ist das Wurzelkanalsystem nicht vollständig zu instrumentieren und es bleiben bis zu 50% der Wurzelkanalareale uninstrumentiert [44]. Zu dem ist eine vollständige Eliminierung durch mechanische Aufbereitung aufgrund der durch den Substanzverlust bedingten mangelnden Zahnstabilität meist nicht möglich [42]. Deshalb ist zur Dekontamination des Wurzelkanals eine Kombination aus abtragendem Vorgehen und chemisch- desinfizierenden Verfahren angezeigt [15].

2.3.2 Chemische Aufbereitung

Neben der mechanischen Aufbereitung als ersten Pfeiler kann die chemische Aufbereitung als zweiter Pfeiler der Desinfektion des Wurzelkanalsystems betrachtet werden, die aufgrund dessen auch chemo-mechanische Aufbereitung genannt wird. Durch die Anwendung verschiedener Spüllösungen sollen nekrotisches Pulpagewebe sowie Dentinspäne, die bei der mechanischen Aufbereitung entstehen, aus dem Kanallumen herausgespült werden [42]. Die Spüllösung soll desinfizierend und gewebeauflösend wirken, wobei die Seitenkanäle mit desinfiziert werden [108]. Durch die ergänzende chemische Wurzelkanal desinfektion soll eine möglichst vollständige Elimination der Bakterien erfolgen. Infolgedessen ist eine bis in die Tiefe der Dentintubuli reichende Reinigung als mitentscheidend für den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung anzusehen.

Während der mechanischen Aufbereitung entsteht an den bearbeiteten Kanalwänden eine etwa 1-5 µm dicke Schicht aus hauptsächlich anorganischen Bestandteilen wie etwa Dentinpartikeln, Prädentin, Debris aber auch organischen Bestandteilen, wie Geweberesten und im Fall eines infizierten Kanals Mikroorganismen. Diese Schicht wird Schmierschicht oder Smearlayer genannt [32,52,53,73,74,106]. Die Frage nach der Entfernung der Schmierschicht wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einige Autoren sehen im Belassen der Schmierschicht einen Vorteil, da dieser eine physikalische Barriere für Bakterien und deren Produkte darstellen kann [30,79,95]. Umgekehrt können Bakterien in Dentinkanälchen und akzessorischen Kanälen durch die Schmierschicht vor desinfizierenden Agenzien geschützt werden [76,77]. Andere Autoren sehen die Entfernung der Schmierschicht als notwendig, da sie nekrotisches Pulpagewebe und Bakterien enthält und sogar die Vermehrung der Bakterien und ihrer Produkte ermöglicht [66,121].

Zur chemischen Aufbereitung wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Spül- und Desinfektionslösungen empfohlen, wobei sich NaOCl in unterschiedlichen Konzentrationen durchgesetzt hat [15,16,17,54].

2.3.3 Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit ist das Natriumsalz der hypochlorigen Säure. Hergestellt wird NaOCl entweder durch das Einleiten von Chlor in verdünnte Natronlauge oder die Produktion erfolgt mit einer Elektrolyse aus Kochsalzlösung. NaOCl ist eine wenig beständige Flüssigkeit, die in einem natürlichen pH-Wertbereich zwischen 10,7 und 12,2 sehr stark oxydierend wirkt. Die Wirksamkeit von NaOCl ist in erster Linie vom pH-Wert abhängig, das Wirkungsoptimum liegt bei $\text{pH} \leq 5$. Die Konzentrationen von NaOCl wird in Prozent angegeben, die Prozentangaben bei NaOCl beziehen sich auf die enthaltene Menge des wirksamen Chlors. Der Wirkungsmechanismus ist nicht exakt aufgeklärt; entstehende hypochlorige Säure (HOCl) ist offenbar das wirksame Prinzip, verstärkt durch Hypochlorit-Ionen (OCl^-); vermutlich ist die primäre Oxidationsreaktion von in die Zelle penetrierendem Chlor (Cl) für die rasche bakterizide Wirkung verantwortlich. Erst sekundär entstehen und akkumulieren im Protoplasma N-Chlor-Verbindungen, die an der Wirkung beteiligt sind [82]. Die desinfizierende Eigenschaft von NaOCl ist in der Medizin unbestritten, es besitzt eine hohe Wirksamkeit gegen Bakterien, Pilze, Pilzsporen sowie gegen behüllte und unbehüllte Viren [14]. NaOCl hat auch die Eigenschaft Bakterienwandbestandteile, Lipopolysaccharide und Endotoxine zu denaturieren [14].

In der internationalen endodontischen Literatur gilt NaOCl als Maßstab der Wurzelkanalspülungen [29,33,107,117], weil es das effektivste Medium zur Auflösung von vitalem und nekrotischem Gewebe ist [104], dessen antibakterielle Wirkung unbestreitbar ist [13,101].

Da der größte Anteil der Schmierschicht aus anorganischen Bestandteilen besteht, hat NaOCl eine geringe Wirkung auf die Entfernung der Schmierschicht [38,46,105,106]. Dies ist als einziger Nachteil von NaOCl anzusehen. Zum Wirkungsspektrum von NaOCl gehören zum einen die gewebeauflösende und zum anderen die antibakterielle Eigenschaft.

Zum Effekt der Gewebeauflösung gibt es eine Vielzahl von Studien, in denen diese Eigenschaft von NaOCl nachgewiesen wurde [1,8,25,107]. Jedoch benötigt es eine relativ lange Kontaktzeit für eine ausreichende Auflösung des Gewebes. Für 6,5 mg pulpalen Gewebes wurden mit 2%igem NaOCl bei 37°C bis 2,5 h zur völligen Auflösung benötigt [8]. In einem In-vitro-Experiment konnte durch die Erwärmung der Lösung von 22°C auf 37°C eine signifikant kürzere Auflösungszeit der Pulpagewebe erzielt werden. Die gewebeauflösende Wirkung von einer 2,6%igen und 5,25%igen NaOCl-Lösung bei 37°C war bei beiden Konzentrationen gleich gut; aber beide Konzentrationen erzielten eine bessere Gewebeauflösung als eine 5,25%ige Lösung bei 21°C [25].

Nicht nur die gewebeauflösende Wirkung von NaOCl wurde untersucht, sondern auch dessen antibakterielle Effizienz. In einigen klinischen Untersuchungen war mit NaOCl nicht in allen Wurzelkanälen reproduzierbare Keimfreiheit zu erzielen. Bei etwa 30% der Wurzelkanäle konnte eine persistierende Infektion festgestellt werden [16,17,35]. Die Aufbereitung mit physiologischer Kochsalzlösung führte nur in 28% der Fälle zur Keimfreiheit, jedoch wurde bei 1%iger NaOCl-Lösung bei 62% der Fälle eine Keimfreiheit in den Wurzelkanälen erreicht [28]. Auch Sjörgen et al. [99,100] erzielten ähnliche Ergebnisse.

Es wird seit vielen Jahren kontrovers diskutiert, welche Konzentration des NaOCl zur Wurzelkanal desinfektion zu empfehlen ist. Konzentrationen zwischen 0,5% und 5,25% werden diskutiert [96]. Eine 5,25%ige NaOCl-Lösung war in Hinsicht der bakteriziden Wirkung speziell in Wurzelkanälen effektiver als andere Spüllösungen [122], wobei sie nicht nur nekrotisches, sondern auch vitales Gewebe auflösten [83]. In vielen In-vitro-Untersuchungen wurde

festgestellt, dass kein großer Unterschied bezüglich der Auflösung des entzündeten Pulpagewebes bei verschiedenen stark konzentrierter NaOCl-Lösungen besteht [17,109]. Zur antimikrobielle Wirkung von 1%, 2,5% und 5,25% NaOCl konnten in einer vergleichenden Studie keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden [96]. Nach einer anderen Untersuchung wurde eine 0,5%ige NaOCl-Lösung empfohlen, da bei höheren Konzentrationen die gewebetoxische gegenüber der bakteriziden Wirkung überwiegt [101]. Allerdings wurde auch beschrieben, dass sie keinen Effekt auf *Staphylococcus aureus* hat, 1%ige NaOCl-Lösung aber schon. Je höher die Konzentration der Lösung ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch vitales Gewebe geschädigt wird [101]. Zu beachten ist, dass eine Wirkung von NaOCl auf vitales Gewebe bei Konzentration ab 1% zu erwarten ist [42], die Konzentration von 0,5% ist nicht gewebeschädlich und wird durch das zirkulierende Blut weggeschwemmt [13,101].

In einer in-vitro-Studie konnte die antibakterielle Wirkung einer 2,6%igen NaOCl-Lösung durch die Erwärmung der Lösung von 22°C auf 37°C deutlich gesteigert werden [26]. Die besten Ergebnisse konnte bei einer Erwärmung bei 60°C von 1%iges NaOCl erzielt werden. Die Erwärmung niedrig konzentrierter Spüllösungen wird aufgrund der besseren Gewebeverträglichkeit als eine erfolgsversprechende Modifikation der Spüllösung angesehen [98].

2.3.4 Applikation der Spüllösung

Für die Applikation der Spüllösung kommen folgende Methoden in Frage: zum einen die Applikation mit einer konventionellen Spritze zum anderen das Transportieren der Lösung mit einem dünnen Instrument. Die Spülflüssigkeit kann in die Pulkammer appliziert und mit einem dünnen Instrument apikalwärts transportiert werden, wobei dann die Reinigungswirkung geringer ist als bei der konventionellen Spülung [2]. Das Einbringen der Spülflüssigkeit mit einer konventionellen Einwegspritze, die mit einer dünnen Injektionskanüle

(Durchmesser von 0,4 mm) versehen ist, stellt dabei das übliche Vorgehen dar. In der Endodontie kommen verschiedene Spülkanülen mit unterschiedlichem Kanülendurchmesser zum Einsatz. Die Modifikation der Kanüle, ob sie an der Spitze abgerundet ist oder eine seitliche Austrittsöffnung hat, ist in Bezug auf die klinische Bedeutung noch nicht aufgeklärt. Die Verwendung von schmalen Kanülen ist von großer Bedeutung; da das Verklemmen der Kanüle vermindert wird. Es sollte ohnehin darauf geachtet werden, dass die Kanüle locker in dem Kanal sitzt, da ansonsten die Gefahr der apikalen Extrusion der Spüllösung erhöht [45]. Zum anderen ist durch die schmale Kanüle eine tiefere Penetration der Spitze in den Kanal möglich.

Die Eindringtiefe der Spülnadel in den Wurzelkanal ist von großer Bedeutung [2], da die Effektivität der Spülung nur einen Millimeter über die Nadelspitze hinaus reicht [23]. Bei einer Eindringtiefe der Nadel von 1 mm vor Arbeitslänge war die mechanische Effektivität der Spüllösung besser als bei einer Eindringtiefe von 5 mm vor Arbeitslänge [94]. Diese Aussage wurde durch eine andere Studie bestätigt; bei einem Abstand von 5mm von der Arbeitslänge blieben 26% der vorhandenen Mikroorganismen zurück, bei einer Entfernung von 1 mm hingegen nur 9% [49]. Eine wirksamere Desinfektion in der apikalen Kanalregion ist ab einer Aufbereitungsgröße von ISO-Größe 35 zu erwarten [2,12,81].

Das Volumen der verwendeten Spülflüssigkeit ist von klinischer Bedeutung, denn eine Erhöhung der Menge der Spülflüssigkeit führt zu einer besseren Keimeliminierung [23,80]. Die Spülflüssigkeit soll ein Volumen von 2-5 ml/ Kanal umfassen [80]. Es wird empfohlen, nach jeder Instrumentengröße die Applikation von frischer Spüllösung in den Wurzelkanal zu wiederholen [33].

Die Wirkung von NaOCl ist abhängig von der Kontaktfläche, der Kontaktzeit und der Menge der verwendeten Lösung [36]. Da die Kontaktfläche bei Vorhandensein eines Biofilms und bei den komplexen anatomischen Verhältnissen des Wurzelkanalsystems gering ausfallen kann, spielt die Spüldauer eine große Bedeutung, und es sollte eine Einwirkzeit von 30 bis 60 Minuten für NaOCl nicht unterschritten werden [102].

2.4 Ultraschallaktivierung

Ultraschallfrequenzen liegen oberhalb der menschlichen Hörgrenze von 20 kHz. Der Frequenzbereich von in der Endodontie verwendeten Ultraschallsystemen liegt zwischen 25-40 kHz. Die elektrische Energie wird von magnetostriktiver oder piezoelektrischer Form in mechanische Schwingungsenergie umgewandelt. Beim magnetostriktiven Ultraschallgerät verändern ferromagnetische Stoffe im magnetischen Wechselfeld ihre Länge. Im Wechselfeld schwingt ein Stab oder eine Scheibe. Diese Schwingung wird auf das umgebende Umfeld übertragen. Beim piezoelektrischen Ultraschallgerät wird das Volumen eines Quarzkristalls beim Anlegen einer Wechselspannung verändert. Der Kristall führt Deformationsschwingungen in der Frequenz der Wechselspannung aus und gibt diese an das Umfeld ab.

Die Wirksamkeit der Wurzelkanalspülung kann durch die Anwendung von Ultraschallsystemen erhöht werden [6,19,27,51,61,113]. Übereinstimmend wird von einem gesteigerten antibakteriellen Effekt der ultraschallgeschützten NaOCl-Spülung berichtet [2,6,21]. In Kombination mit Ultraschall wird dessen gewebeauflösende Wirkung noch gesteigert [59,70], einige Autoren sprechen von einem synergistischen Effekt des Ultraschalls [19,60]. Mit Hilfe der Ultraschallspülung konnten bei 70% der Kanäle in nur einer Sitzung Keimfreiheit erzielt werden, mit NaOCl bei 50% und mit NaCl nur bei 20% [47].

Durch die Strömungsphänomene wie akustische Mikroströmung und Kavitation, die bei der Ultraschallanwendung auftreten, kommt es zu einem hohen Flüssigkeitsumsatz. Somit kann die Spülflüssigkeit sehr effektiv bis in die apikale Region transportiert werden [49]. Im Vergleich zur konventionellen Spültechnik ist die ultraschallaktivierte Spülung in Bezug auf die Sauberkeit der Kanalwand von Debris und auf die Reduzierung der Keimzahl deutlich überlegen [85].

In der Literatur wird von zwei Aktivierungsformen berichtet; die aktive Ultraschallspülung und die passive Ultraschallspülung, auch genannt „passive ultrasonic irrigation“ (PUI). Bei der aktiven Ultraschallspülung wird das Instrument mit dem Ultraschallgerät während der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung unterstützt. Somit hat das Instrument bei der gesamten Ultraschallaktivierung Kanalinnenwandkontakt. Als Resultate einiger Studien wird von einer aktiven Ultraschallspülung abgeraten, weil während des Vorganges ein erhöhtes Risiko von Begradigung von gekrümmten Kanälen und Stufenbildung besteht [110].

Bei der PUI soll ein dünnes Instrument, z.B. ISO-Größe 15, nach der fertigen mechanischen Aufbereitung in den Kanal passiv eingeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das Instrument keinen Wandkontakt hat und frei in dem Kanal schwingen kann [4,48,85,111]. Als Instrumente werden nicht schneidende und flexible Feilen (Fa. EMS Satelec®) oder ein glatter Draht (Fa. EMS Endosoft Tip®) in unterschiedlicher ISO-Größen empfohlen, wobei darauf geachtet werden sollte, je nach Aufbereitungsgröße die kleinstmögliche ISO-Größe zu verwenden. Denn so können die Strömungsphänomene, die akustische Mikroströmung und die Kavitation, die für die passive Ultraschallspülung verantwortlich sind, besonders effektiv wirken [4,5,84]. Die passive Ultraschallspülung (PUI) wurde erstmals von Weller et al. beschrieben [120].

Bei der effektiven Reinigung des Wurzelkanalsystems kann die PUI ein wesentliches Hilfsmittel werden, da sie die Möglichkeit bietet, Gewebe und Debris auch an schwer zugänglichen Bereichen des Wurzelkanalsystems zu entfernen [7,57]. In einer Studie wurde Wasser mit NaOCl als Spülmedium in Bezug auf die effektivere Reinigungskraft miteinander verglichen. NaOCl hat deutlich bessere Ergebnisse erzielt, die Ursache kann mit der verbesserten gewebeauflösende Wirkung durch die Mikroströmung oder aber auch durch den Ultraschall induzierte Temperaturerhöhung in Verbindung gebracht werden [3,37,43,111].

Der Einfluss der Spüldauer auf die Wirksamkeit der ultraschallaktivierte Spülung ist noch unklar. In der Studie von Cameron [18] wird gezeigt, dass die effektive Entfernung eines Smearlayers nach 5 Minuten höher ist als nach 3 Minuten. In einer anderen Studie wird kein signifikanter Unterschied zwischen einer 30 und 60 Sekunden langen ultraschallaktivierten Spülung bei der Entfernung von Debris deutlich [85].

3 Material und Methode

3.1 Auswahlkriterien der Versuchsobjekte

Für die Untersuchung wurden 24 extrahierte erste und zweite Prämolaren aus allen Quadranten verwendet. Die Prämolaren wurden nach ihrer Entfernung bis zur Probenherstellung in einer 0,1%igen Thymollösung (Mat.1) gelagert. Zwischen den einwurzeligen und den zweiwurzeligen Prämolaren sind keine Differenzierung gemacht worden. Die Untersuchungsobjekte wurden von Auflagerungen wie Konkrementen, Zahnstein oder Anteilen des bindegewebigen Faserapparates mit einem Handinstrument Scaler (Mat.2) befreit.

3.2 Herstellung der Proben

3.2.1 Trepanation und Erschließung des Wurzelkanals

Nach der Säuberung der Zähne wurden sie mit einem Kugeldiamanten (Mat.3) in einem roten Winkelstück (Mat.4) trepaniert. Dieser Vorgang erfolgte, bis das Dentin erreicht wurde. Mit einem Rosenbohrer (Mat.5) und einem blauen Winkelstück (Mat.6), wurde die Pulpakammer eröffnet und das gesamte Pulpakammerdach entfernt. Die Reste des Pulpakammerdaches an der Wand wurden mit einem konischen Diamantschleifkörper mit glatter, nicht arbeitender, selbstzentrierender Spitze (Mat.7), und einem roten Winkelstück, finiert. Die Trepanationsöffnung entspricht in der Umrissform einer ovalen Fläche in bukkal-oraler Richtung, sodass ein geradliniger Zugang zu den Kanaleingängen hergestellt wurde.

Nach der Trepanation wurde die Pulpa mit einer Exstirpationsnadel (Mat.8) entfernt. Der Wurzelkanal wurde auf die Durchgängigkeit bis zum Foramen apikale mit einer Kerr-Feile ISO-Größe 10 und 15 (Mat.9/10) im feuchten Wurzelkanal (NaOCl 5%, Mat.11) überprüft. Die Durchgängigkeit des Kanals erfolgte unter visueller Kontrolle. Die Feile wurde im Wurzelkanal solange vorgeschoben, bis die Instrumentenspitze aus dem Foramen apikale herausragte.

Nach der Erschließung des Kanalsystems erfolgte die Bestimmung der Arbeitslänge. Die Arbeitslänge wurde definiert als der Abstand vom Referenzpunkt bis zum Foramen physiologicum und betrug bei allen Zähnen $20,5 \pm 1$ mm. Als Referenzpunkt wurde bei allen Zähnen einheitlich die orale Höckerspitze gewählt. Das Foramen physiologicum wurde definiert als Foramen apikale abzüglich 0,5 mm.

Der koronale Anteil des Wurzelkanals wurde mit Gates-Glidden-Bohrern der Größe I-III (Mat.12-14), und einem blauen Winkelstück erweitert. Bis zur weiteren Bearbeitung wurden die Zähne einzeln in nummerierten Proberöhrchen (Mat.15) in Thymollösung aufbewahrt.

3.2.2 Aufbereitung des Wurzelkanals

Die Aufbereitung der Prämolaren erfolgte maschinell. Für die mechanische Aufbereitung wurde das Flexmaster[®] (Mat.16) verwendet. Unter Beachtung der Arbeitslänge wurde der Kanal von der Instrumentengröße 02/15 bis 02/60 (Mat.17-25) aufbereitet. Nach jeder Instrumentengröße wurde der Kanal mit der Spüllösung NaOCl 5% gespült. Nach der letzten Instrumentengröße wurde der Kanal solange mit der Spüllösung gespült, bis diese klar blieb. Nach dem Vorgang wurde der aufbereitete Zahn bis zur weiteren Verwendung in einer Thymollösung 0,1% gelagert.

Alle 24 Zähne wurden nach der Aufbereitung in zwei Ebenen, in mesio-distaler und oral-bukkaler Richtung, geröntgt. Die Röntgenbilder wurden digital mit dem KaVo In eXam (Fa. KaVo Dental) (Mat.27) aufgenommen und gespeichert.

Durch die radiologische Kontrolle soll die freie Schwingung der Instrumente ISO-Größe 25 und ISO-Größe 15 garantiert werden. Die Aufnahme erfolgte mit dem Fingerspreader ISO-Größe 25 (Mat.28). Das Instrument wurde 2 mm kürzer als die vorher bestimmte Arbeitslänge in den Kanal eingeführt. Der Zahn wurde mit einem Dentalwachs (Mat.29) auf einer Platte fixiert. Mit einem Strahlengang in bukkal-oraler Richtung mit einer Belichtungszeit von 0,059 s erfolgte die erste Aufnahme. Nach dem Speichern wurde der gleiche Zahn in mesio-distaler Richtung mit derselben Belichtungszeit geröntgt und gespeichert. In der Reihenfolge wurden alle Zähne geröntgt. Danach erfolgte die visuelle Kontrolle, ob die Aufbereitung der Wurzelkanäle ausreichte. Dabei wurde darauf geachtet, dass zwischen dem Instrument und Kanalinnenwand keine Kontaktfläche bestand (Abb.1 und 2).

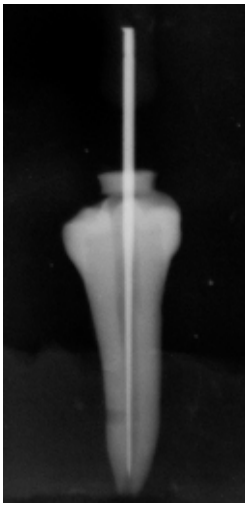


Abb. 1: Kontrollaufnahme in bukkal-oraler Richtung

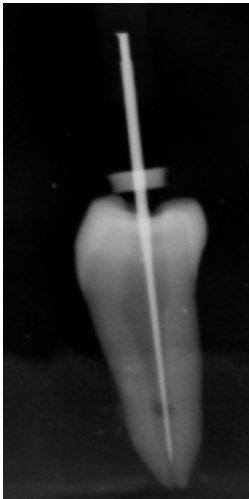


Abb. 2: Kontrollaufnahme in mesio-distaler Richtung

3.2.3 Messung des Wurzelkanalvolumens

Das Fassungsvermögen des Kanalvolumens nach der Aufbereitung an Spülflüssigkeit wurde gemessen. Das Kanallumen wurde bis zum Trepanationsrand mit 5% NaOCl-Lösung, spezifisches Gewicht von $1,01 \text{ g/cm}^3$, gefüllt. Zehn Papierspitzen ISO-Größe 60 (Mat.31) wurden in einem Proberöhrchen trocken mit einer Feinwaage (Mat.32) gewogen. Alle zehn Papierspitzen wurden auf voller Arbeitslänge in den Kanal geschoben, und sofort nach der Entfernung aus dem Kanal feucht in das Proberöhrchen gelegt.

Die feuchten Papierspitzen mit dem Proberöhrchen wurden noch einmal mit derselben Feinwaage gewogen. Die Differenz zwischen dem Feuchtgewicht und dem Trockengewicht in g bildet das Δ -Gewicht. Das Δ -Gewicht ist gleich dem Gewicht der benötigten Spülflüssigkeit für das gesamte Kanalvolumen gleichzustellen. Das Volumen wurde aus dem Verhältnis, Δ -Gewicht und, spezifisches Gewicht von 1,01 g/cm³ ermittelt (siehe Anhang XI).

3.2.4 Definition der Messstellen

Zur Messung der Temperaturentwicklung im Wurzelkanal wurden zwei Messstellen definiert. Der Messpunkt 1 lag im apikalen Bereich. Die Messsonde, welche in Kapitel 3.3.1 beschrieben wird, wurde 1 mm durch das Foramen apikale in den Kanal nach koronal geschoben. Der Messpunkt 2 war im mittleren Drittel des Kanals; 7 mm koronal von Foramen apikale wurde ein kleines Loch, groß genug für den Durchmesser der Messsonde, mit einem Kugeldiamanten (Mat.26) proximal (seitlich) von der Wurzeloberfläche bis zum Kanallumen gebohrt. Die Messsonde wurde solange in den Kanal geschoben bis die Spitze der Messsonde mit der Kanalinnenwand eine Ebene bildete.

Um die Messung zu erleichtern wurden die Zähne eingebettet. Dazu wurden die Zugänge für die Messsonden mit Guttaperchastiften ISO-Größe 80 (Mat.35) verschlossen. Anschließend wurden alle Zähne nach dem gleichen Schema in Hartgips (Mat.36) eingebettet, sodass auch durch den Gips ein gradliniger Zugang für die Messsonde erhalten blieb. Nach dem Aushärten des Gipses nach etwa 30 Minuten wurden die Guttaperchastifte entfernt und die Zugänge visuell auf die Durchgängigkeit hin kontrolliert. Die Gipsblöcke (Abb.3) mit den Versuchsobjekten wurden bis zur weiteren Verwendung in einer 0,1%igen Thymollösung gelagert.

3.3 Versuchsaufbau

Alle Versuche wurden bei einer konstanten Temperatur von 37°C im Wasserbad (Mat.38) durchgeführt. Eine schematische Zeichnung des Versuchsaufbaus ist in Abb. 3 zu sehen.

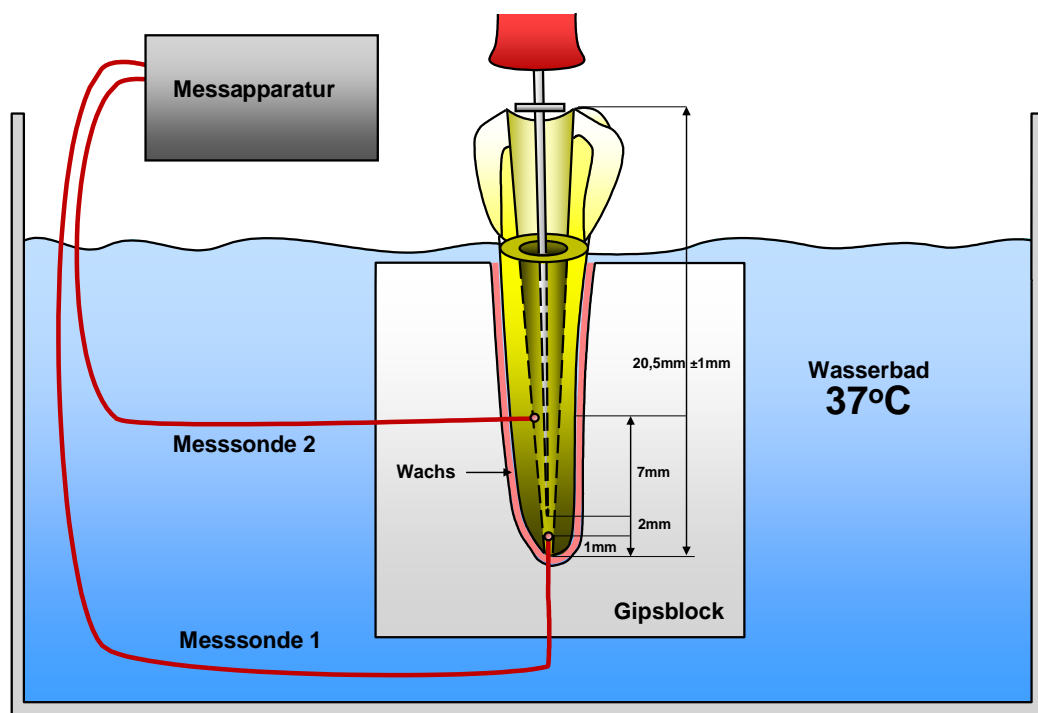


Abb. 3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

3.3.1 Thermoelement

Zur Messung der Temperaturentwicklung bei den zu untersuchenden Proben wurde ein Thermoelement (Mat.39) verwendet. Ein Thermoelement ist ein Bauteil aus zwei unterschiedlichen und an einem Ende miteinander verbundenen Metallen. An den freien Enden der beiden miteinander verbundenen Leiter wird bei einer Temperaturdifferenz entlang der Leiter aufgrund des Seebeck-Effekts eine elektrische Spannung erzeugt. Die Verbindungsstelle und die freien Enden müssen somit hierzu unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Als Seebeck-Effekt wird das Auftreten einer Spannung zwischen zwei Stellen unterschiedlicher Temperatur eines Leiters genannt. Die Potentialdifferenz ist annähernd proportional zur Temperaturdifferenz und abhängig vom Leitermaterial. Bei metallischen Leitern treten Spannungen im Bereich einiger Mikrovolt bis Millivolt auf. Als Metalllegierung wurde ein Eisen- Kupfer/Nickel -50 bis 760°C (Typ J) verwendet. Das Messgerät wurde über eine serielle Schnittstelle an einen PC (Mat.40) angeschlossen.

3.3.2 Piezon Master 400[®]

Für die Ultraschallaktivierung der Instrumente bei der Untersuchung wurde das piezoelektrische Ultraschallgerät, Piezon Master 400[®] (Mat.41), bei dem die Instrumente Schwingungen im Bereich von 25000-32000 Hertz ausführen, verwendet. Der piezoelektrische Effekt lässt sich wie folgt erklären: Wird makroskopisch auf einen Kristall Druck ausgeübt, führt dies mikroskopisch zu einer Dipolbildung innerhalb einer Elementarzelle. Die Aufsummierung über alle Elementarzellen des Kristalls führt zu einer makroskopisch messbaren elektrischen Spannung. Entsprechend führt beim inversen piezoelektrischen

Effekt eine äußere Spannung auf mikroskopischer Ebene zu einer Änderung der Gitterkonstanten der Elementarzellen, die sich wiederum zu einer messbaren Längenänderung addieren

3.4 Vorversuche

Zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit und für die Fallzahlberechnung wurden zwei Vorversuche durchgeführt. In Vorversuch 1 wurden an einem Zahn 10 Messreihen aller Methoden durchgeführt. Die Einzeldaten sind im Anhang XIV zu entnehmen.

Für den Vorversuch 2 wurden 5 Zähne vorbereitet. Entsprechend des geplanten Hauptversuches wurden die Messungen durchgeführt und die benötigte Fallzahl berechnet. Die Fallzahl wurde auf 24 Zähnen festgelegt.

3.5 Hauptversuche

Vor der Versuchsdurchführung wurde eine Messreihenfolge für die Versuchsobjekte festgelegt (Anhang XIII).

3.5.1 Versuchsgruppen

Bei dieser Studie wurden vier Gruppen je mit zwei Größen ISO-Größe 15 und ISO-Größe 25 miteinander in Bezug auf die Temperaturentwicklung bei der passiven Ultraschallaktivierung der Instrumente verglichen.

Versuchsgruppen mit ISO-Größe 25:

1a. Gruppe: Kerr-Feile indirekt ISO-Größe 25
2a. Gruppe: Kerr-Feile direkt ISO-Größe 25
3a. Gruppe Fingerspreader indirekt ISO-Größe 25
4a. Gruppe Fingerspreader direkt ISO-Größe 25

Versuchsgruppen mit ISO-Größe 15:

1b. Gruppe: Kerr-Feile indirekt ISO-Größe 15
2b. Gruppe: Kerr-Feile direkt ISO-Größe 15
3b. Gruppe Fingerspreader indirekt ISO-Größe 15
4b. Gruppe Fingerspreader direkt ISO-Größe 15
5b. Gruppe Fingerspreader direkt ISO-Größe 15, kontinuierliche Spülung

Tab. 3.1: Übersicht der Versuchsgruppen

3.5.2 Vorbereitende Maßnahmen

Die Thermoelemente wurden an dem jeweiligen Zahn in den vorgesehenen Bohrungen adaptiert. Die Messsonde mit der roten Markierung (Abb.4) wurde 1mm durch das Foramen apikale in den Kanal koronalwärts geschoben. Die Messsonde mit der blauen Markierung wurde bis zum Widerstand eingeführt. Der Widerstand wurde durch den eingeführten Guttaperchastift in dem Kanal erreicht. Somit bildete die Messsonde mit der Kanalinnenwand eine Ebene. Beide Messsonden wurden mit Dentalwachs fixiert. Der Gipsblock wurde mit einem Halteelement (Mat.42) in das vortemperierte Wasserbad bei 37°C bis zur Schmelz-Zement-Grenze eingetaucht (Abb. 5). Nach einer Wartezeit von 30 Minuten der Proben im Wasserbad wurde das Versuchsobjekt mit der Spülflüssigkeit NaOCl 5% durchgespült und danach mit einer Papierspitze getrocknet, somit wurde sicher gestellt, dass in dem Wurzelkanal keine andere Flüssigkeit vorhanden sein konnte.

Für die indirekte Methode wurden handelsübliche Fingerinstrumente, Kerr-Feilen ISO-Größe 15/25 (Mat.43/44) und Fingerspreader ISO-Größe 15/25 (Mat.28/30), verwendet. Das Instrument wurde 2 mm kürzer als die Arbeitslänge eingestellt (siehe Anhang XII). Die Applikation der Spüllösung NaOCl 5% erfolgte mit einer konventionellen Einmalspritzen bis zum Rand der Zugangskavität. Nach dem Einbringen der Lösung wurde das Instrument in den Kanal geschoben. Für die Aktivierung des Instrumentes wurde ein Scaleransatzes (Mat.46) genommen. Die Messung begann zeitgleich mit dem Ansetzen des Scaleransatzes an dem Instrument, (Abb. 6).

Für die direkte Methode wurden dieselben Instrumentengrößen genommen. Die Fingerspreader (Mat. 28/30) wurden etwas modifiziert, d.h. die Fingerinstrumente wurden am Schaft mit der Trennscheibe getrennt und geglättet, damit sie in dem Endhalter (Mat.47) eingespannt werden konnten.

Die Kerr-Feilen ISO-Größe 15/25 (Mat.45) wurden nicht modifiziert. Sie gibt es handelsüblich zu kaufen. Die Applikation der Spüllösung erfolgte wie bei der indirekten Methode. Das Instrument war bei der direkten Methode in einem Endhalter fest eingespannt. Die Messung erfolgte bei dem direkten Verfahren sofort nach dem Einschieben des Instrumentes auf die vorher bestimmte Instrumentenlänge.



Abb. 4: Versuchsblock mit den Thermoelementen an dem zu untersuchenden Zahn.

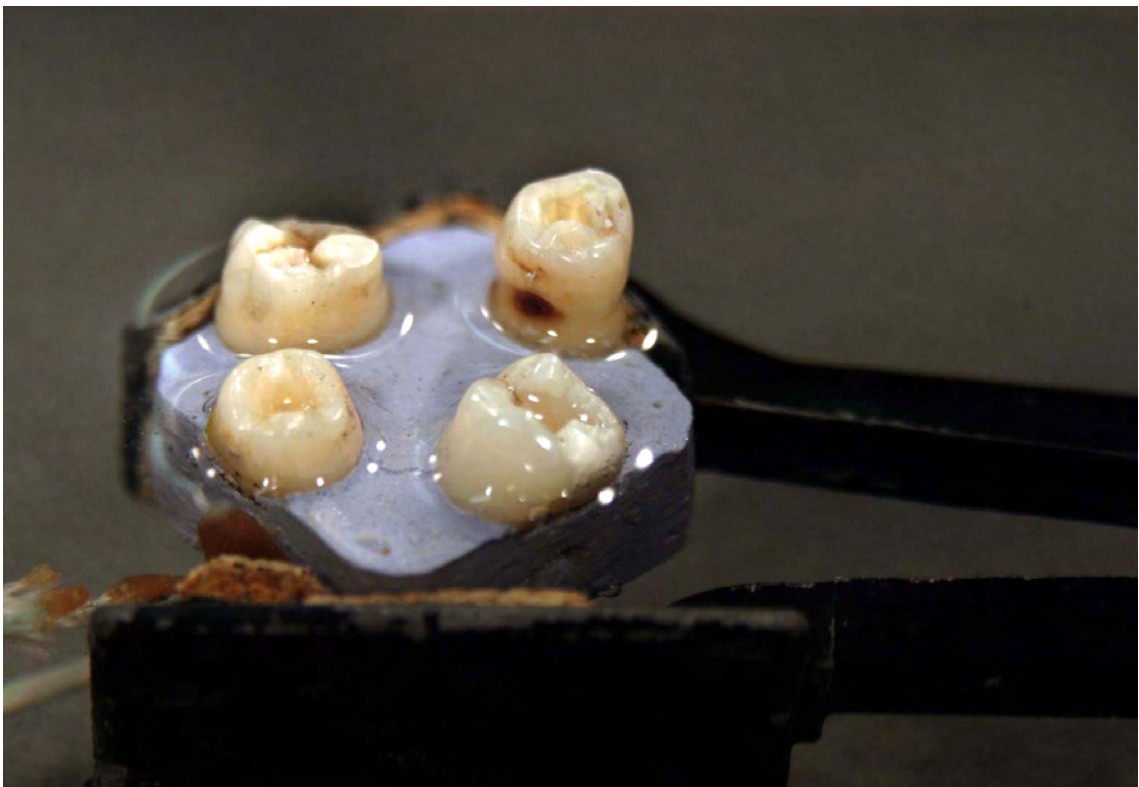


Abb. 5: Gipsblock im Wasserbad an einer Haltervorrichtung.

3.5.3 Versuchsdurchführung

Bei den Gruppen 1a und 1b wurde die indirekte Methode mit dem Instrument, in dem Fall eine Kerr-Feile, untersucht. Das Instrument wurde 2mm kürzer als die Arbeitslänge, (siehe Anhang XII) in den Wurzelkanal geschoben. Die Applikation der Spüllösung NaOCl 5% erfolgte bis zum Trepanationsrand kurz vor der Messung. Die Messung begann zeitgleich mit dem Ansetzen des Scaleransatzes (Mat.46), (Abb. 6).

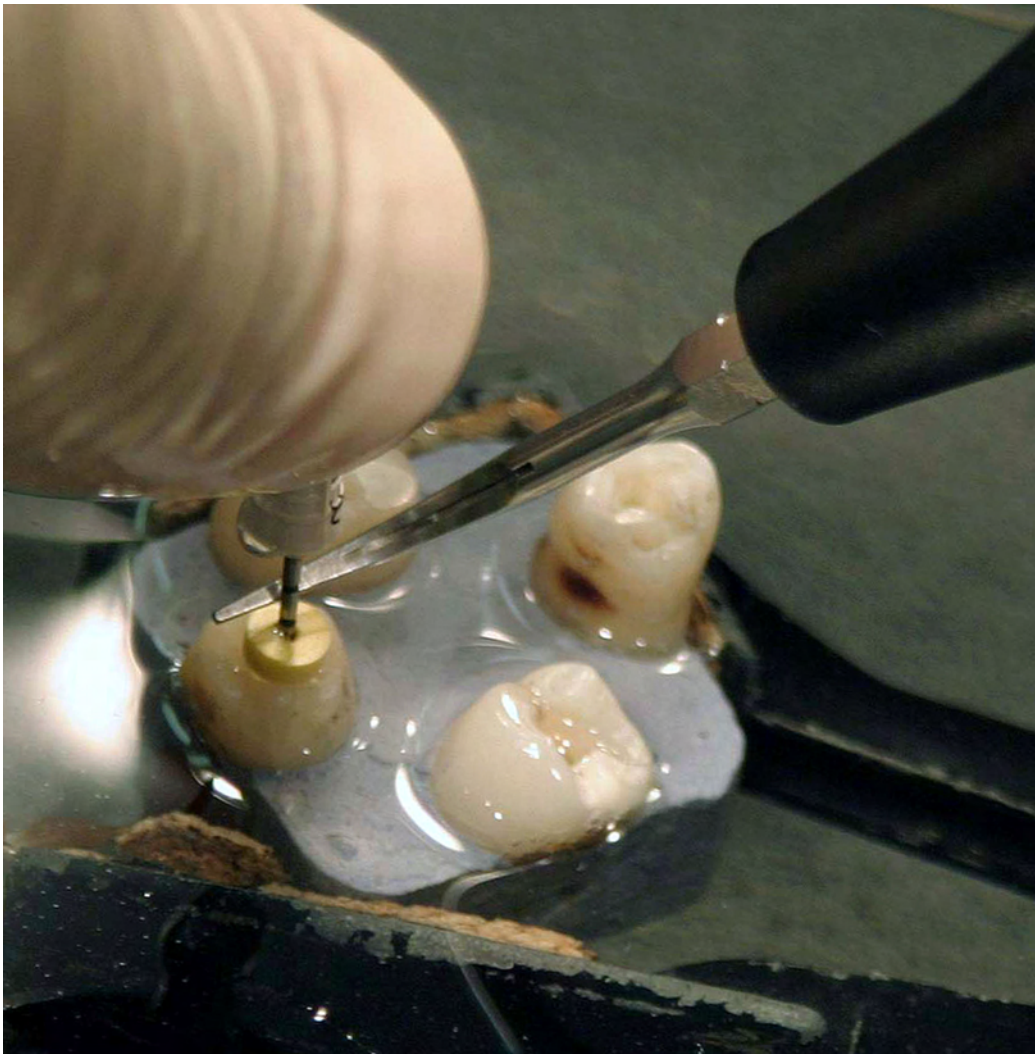


Abb. 6: Versuchsdurchführung mit einer Kerr-Feile ISO-Größe 15; indirekte Methode.

In der Gruppe 2a und 2b wurde die direkte Methode mit der Kerr-Feile, in einem Endhalter eingespannt, untersucht (Abb. 7). Die Messung erfolgte bei dem Direkten-Verfahren sofort nach dem Einschieben der Feile in die vorher bestimmte Instrumentenlänge.

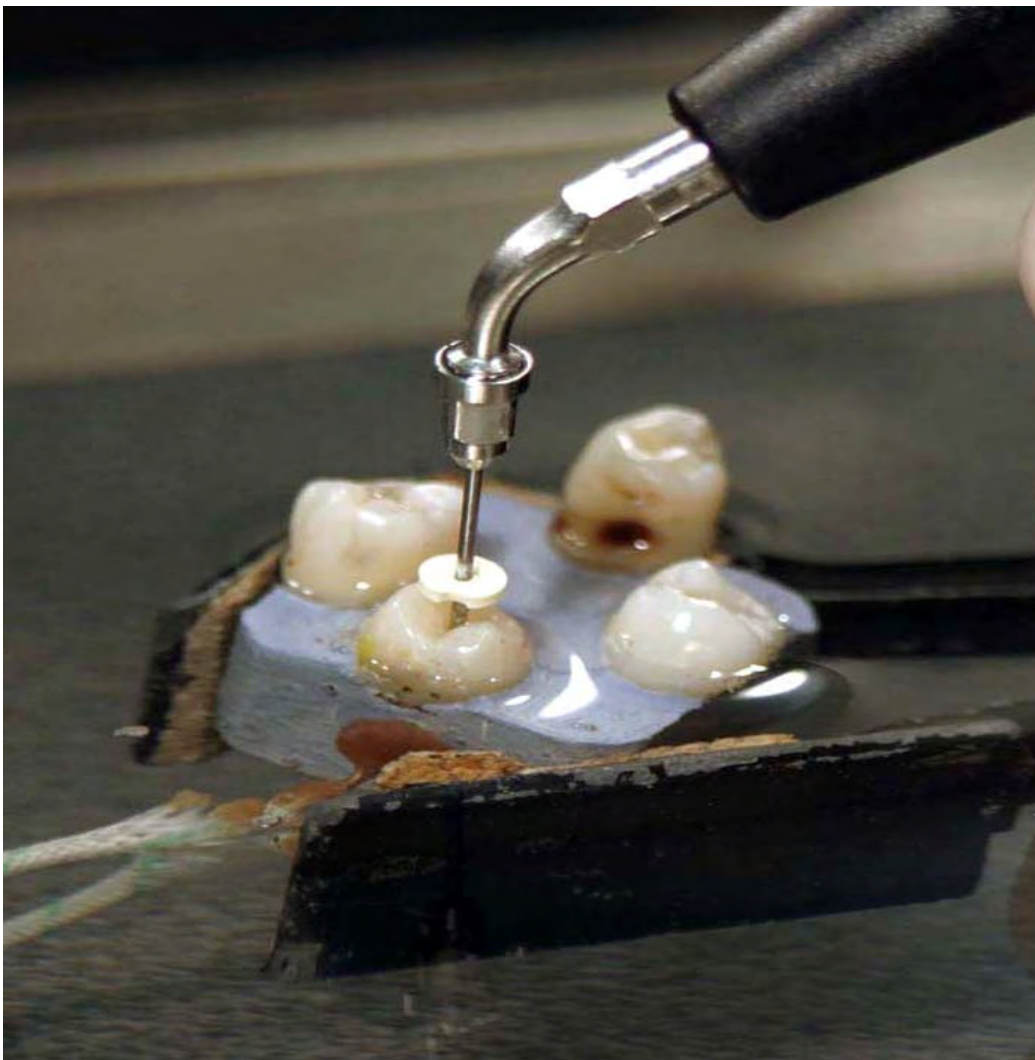


Abb. 7: Versuchsdurchführung mit einer Kerr-Feile ISO-Größe 15; direkte Methode.

Die Gruppen 3a und 3b entsprachen von der Durchführung her den Gruppen 1a und 1b. Der Unterschied bestand allein in dem verwendeten Instrument. Anstatt

Material und Methode

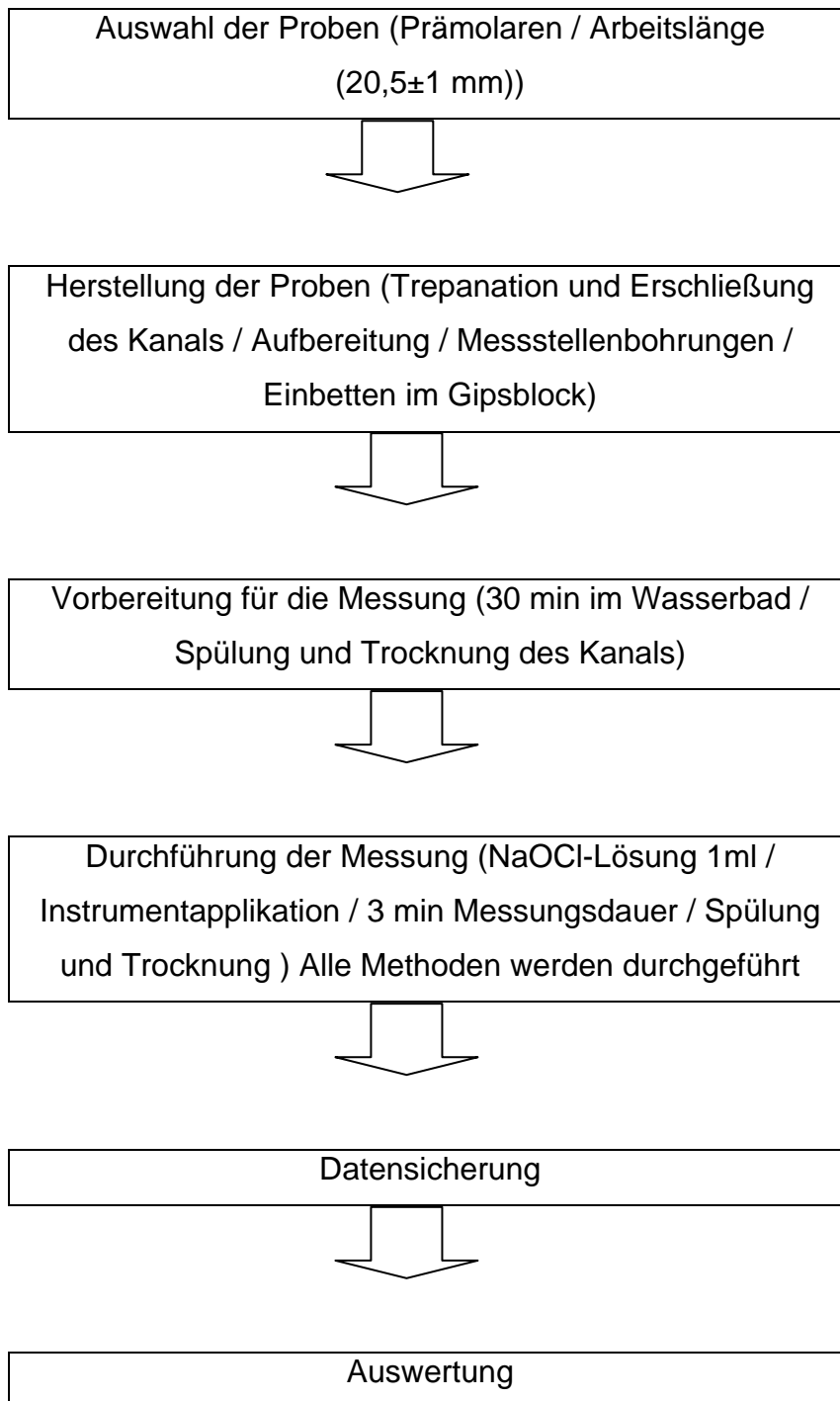
der Kerr-Feile wurde der Fingerspreader genommen. In den Gruppen 4a und 4b wurde die Ausführung des Versuchs genau so wie in den Gruppen 2a und 2b vollzogen, mit dem Unterschied des Instrumentes. Auch hier wurde anstatt der Kerr-Feile der Fingerspreader genommen.

Eine zusätzliche Versuchsreihe (Gruppe 5) wurde hinzugefügt. Diese war von der Methode gleich der Gruppe 4b, direkte Methode Fingerspreader ISO-Größe 15, zu stellen. Hier wurde die Messung bei der kontinuierlichen Applikation der Spülflüssigkeit anstatt einer intermittierenden Spülung untersucht. Beim Messvorgang von 3 Minuten wurde während der gesamten Messdauer kontinuierlich 6 ml Spülflüssigkeit in den Kanal appliziert. Nach Vollendung jeder Minute wurden genau 2ml Spüllösung abgegeben.

Der Zahn wurde mit der Spüllösung NaOCl mit Hilfe einer Einmalspritze und Kanüle (Mat.48/49) bis zum Trepanationsrand gespült und belassen. Je nach Messreihenfolge (siehe Anhang XIII) wurde ein Instrument, siehe Gruppen (Tab. 3.1), Kerr-Feile oder Fingerspreader, in jeweiliger Methode, direkt oder indirekt, in den Kanal eingeschoben und mit dem Ultraschallgerät aktiviert (Abb. 6 und 7). Die Messung begann sofort nachdem das Instrument in der richtigen Position im Kanal saß. Die Messung dauerte genau 3 Minuten. Nach der Aufzeichnung der Daten wurde das Versuchsobjekt mit einer 1ml NaOCl-Lösung 5% gespült und mit einer Papierspitzen ISO-Größe 60 getrocknet. So war das Versuchsobjekt für die Messung der nächsten Methode bereitgestellt. Die Untersuchung erfolgte nach derselben Versuchsdurchführung wie bei dem ersten Durchgang. An jedem Versuchsobjekt wurden alle zu untersuchenden Methoden (siehe Tab. 3.1) angewendet. Wenn alle Methoden an einem Versuchsobjekt durchgeführt wurden, sind die Messsonden entfernt und gesäubert worden. Die Messsonden wurden visuell kontrolliert, ob sie beschädigt waren. Nach dem Beenden der Untersuchung wurden die Messsonden an dem nächsten Versuchsobjekt nach der festgelegten Reihenfolge (siehe Anhang XIII) mit Dentalwachs fixiert.

3.6 Schematischer Versuchsablauf

Aufbaudiagramm der Methodik



3.7 Statistische Methoden

Alle Daten wurden mit dem Programm EXCEL (Microsoft Office 2000/USA) erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (Statistical Package for Social Sciences) für Windows (Version 15.0). Der Einfluss von Größe, Lage, Methode und der Art des Instruments auf die Temperaturentwicklung wurde mit Hilfe der 4-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen beurteilt. Der spezielle Unterschied zwischen der direkten und der indirekten Methode wird unter Konstanthaltung aller übrigen Einflussgrößen mit dem t-Test für gepaarte Stichproben beurteilt. Das Signifikanzniveau wurde für alle Auswertungen auf $p \leq 0,05$ festgelegt. Deskriptiv wurde die Temperaturentwicklung in der jeweiligen Konstellation mit Hilfe von Mittelwert und Standardabweichung dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeines

Bei allen zu untersuchenden Proben konnten die Messungen erfolgreich durchgeführt werden. Einen typischen Kurvenverlauf der Temperaturentwicklung ist der Abb. 8 zu entnehmen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen aller zu untersuchenden Parameter ist zur Übersicht in der Tab 4.1. aufgelistet. Alle Details der statistischen Auswertung sowie alle Einzelergebnisse und Mittelwerte sind Anhang II-X zu entnehmen.

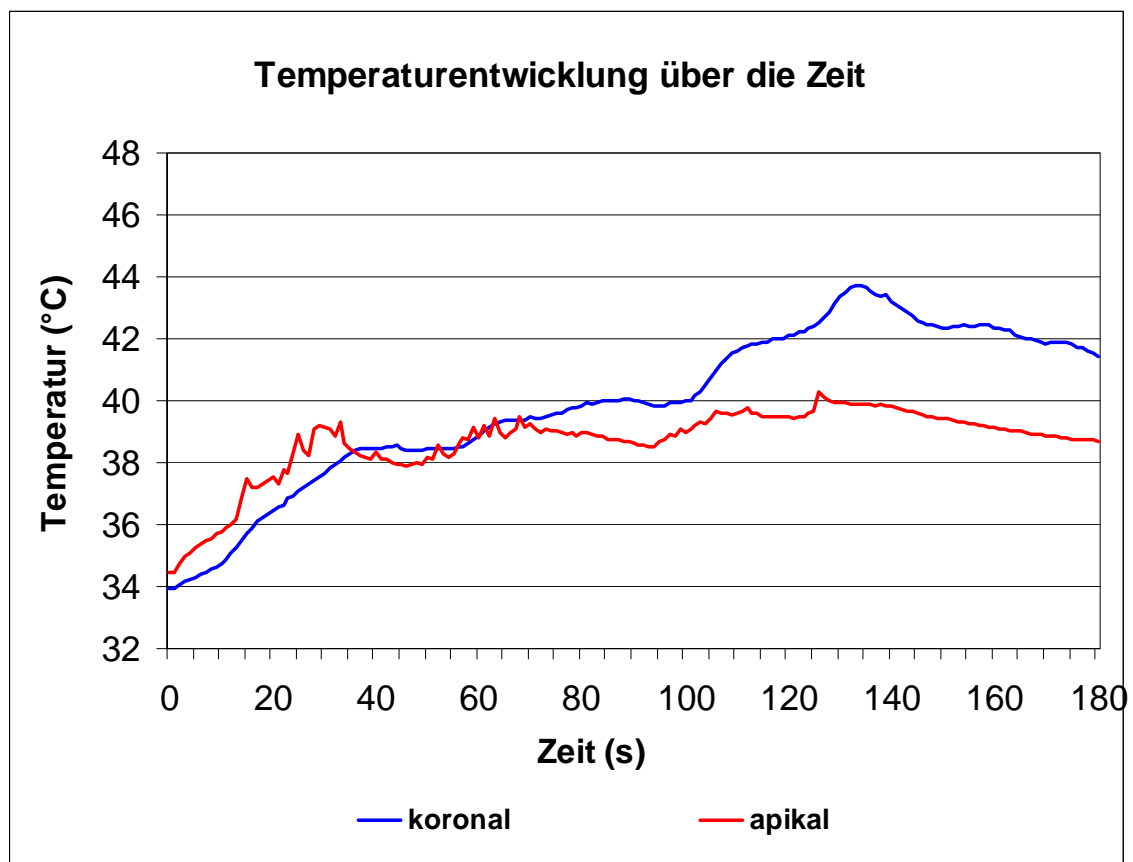


Abb. 8: Ein Beispiel des Kurvenverlaufs der Temperaturentwicklung einer ausgewählten Probe.

Ergebnisse

	Koronal		Apikal	
	Zeit (s)	ΔT (°C)	Zeit (s)	ΔT (°C)
ISO-Gr. 15 direkt KF	116,96 ± 49,62	8,15 ± 2,61	104,50 ± 56,98	4,02 ± 1,81
ISO-Gr. 15 direkt FS	114,83 ± 57,03	8,47 ± 3,91	96,46 ± 67,21	4,18 ± 1,49
ISO-Gr. 25 Direkt KF	93,67 ± 59,36	6,90 ± 3,24	100,21 ± 59,08	3,66 ± 2,17
ISO-Gr. 25 direkt FS	118,83 ± 52,53	10,63 ± 4,86	98,63 ± 59,64	5,14 ± 3,50
ISO-Gr. 15 indirekt KF	124,25 ± 43,72	9,06 ± 3,49	121,96 ± 42,13	5,06 ± 2,15
ISO-Gr. 15 indirekt FS	129,96 ± 40,76	9,64 ± 3,40	135,13 ± 42,29	4,74 ± 2,47
ISO-Gr. 25 indirekt KF	137,88 ± 39,73	7,91 ± 4,20	129,83 ± 44,90	4,62 ± 2,87
ISO-Gr. 25 indirekt FS	133,79 ± 34,84	7,20 ± 3,22	129,79 ± 42,20	4,23 ± 2,64
Gesamt	121,27 ± 48,78	8,49 ± 2,43	114,56 ± 53,85	4,45 ± 3,78

Tab. 4.1: Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichungen aller zu untersuchenden Parameter.

4.2 Temperaturveränderung in Abhängigkeit vom verwendeten Instrument

4.2.1 Kerr-Feile ISO-Größe 15

Sowohl nach direkter als auch nach indirekter Ultraschallaktivierung der Kerr-Feile ISO-Größe 15 ließ sich eine Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal feststellen (Abb.9). Nach indirekter Aktivierung konnte koronal eine Temperaturerhöhung (ΔT) von $9,05 \pm 3,39^\circ\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde nach $t = 124,25 \pm 43,72$ s erreicht. Apikal wurde ein ΔT von $5,06 \pm 2,15^\circ\text{C}$ gemessen, das Temperaturmaximum wurde hier nach $t = 121,96 \pm 42,12$ s erreicht. Nach der direkten Aktivierung fiel die Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal geringer aus, welche koronal aber statistisch nicht zu sichern war ($p=0,20$). Bei der Kerr-Feile ISO-Größe 15 apikal lässt sich beobachten, dass direkt der Temperaturanstieg schwächer ausgeprägt ist ($p \leq 0,05$). Das Temperaturmaximum wurde, wenn auch nur tendenziell, im apikalen Bereich ($p=0,22$) und auch im koronalen Bereich ($p=0,64$) schneller erreicht. So konnte koronal ein ΔT von $8,14 \pm 2,61^\circ\text{C}$ und apikal ein $\Delta T = 4,01 \pm 1,81^\circ\text{C}$ gemessen werden. Der Effekt Das Temperaturmaximum wurde koronal nach $t = 116,96 \pm 49,62$ s und apikal nach $t = 104,5 \pm 56,97$ s erreicht (Abb.10).

Ergebnisse

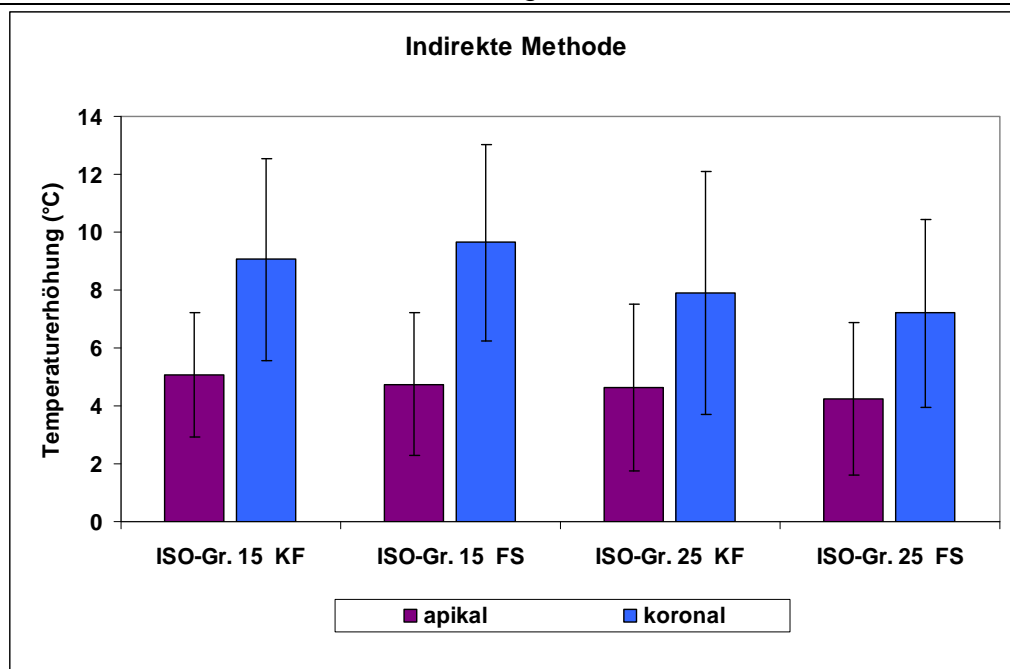


Abb. 9: Vergleich der Temperaturdifferenzen (ΔT) bei der indirekten Methode an zwei Messstellen mit zwei Instrumententypen in zwei unterschiedlichen Größen; deskriptive Darstellung (Mittelwerte und Standardabweichungen (n=24)).

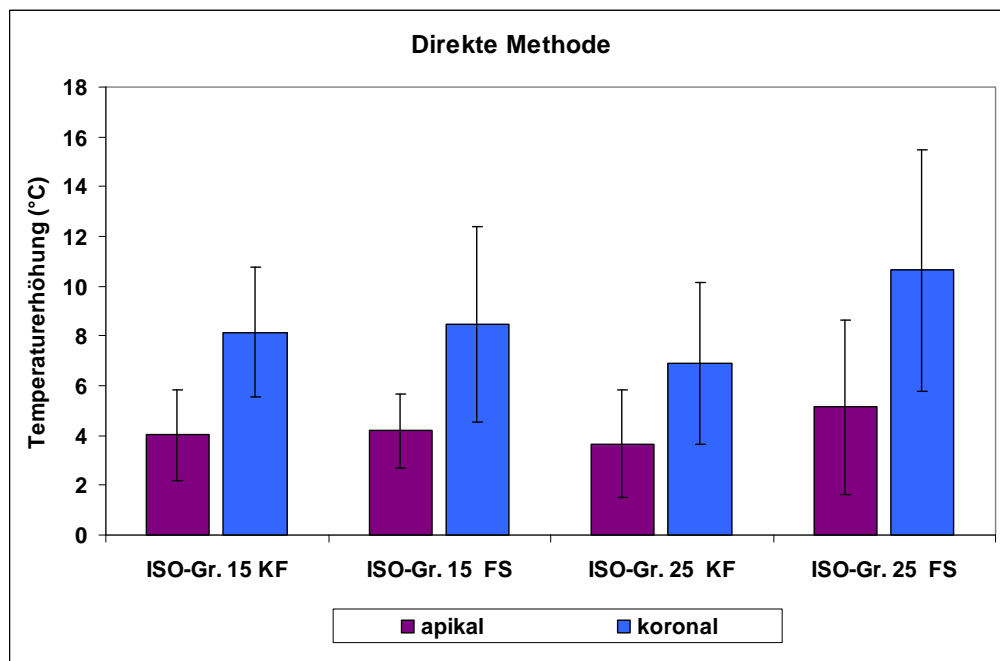


Abb. 10: Vergleich der Temperaturdifferenzen (ΔT) bei der direkten Methode an zwei Messstellen mit zwei Instrumententypen in zwei unterschiedlichen Größen; deskriptive Darstellung (Mittelwerte und Standardabweichungen (n=24)).

Ergebnisse

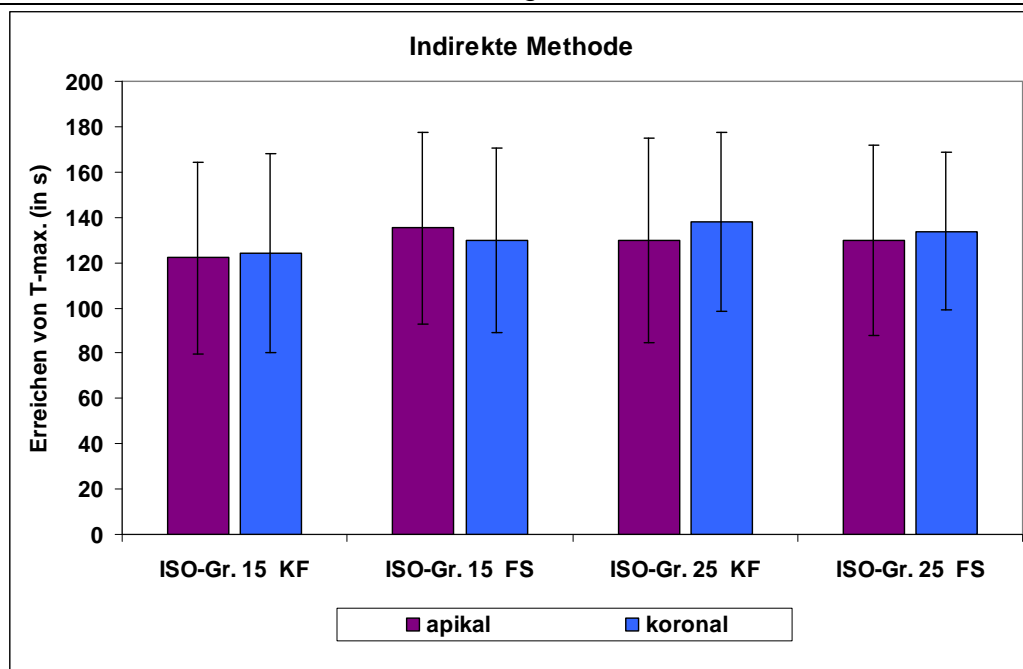


Abb. 11: Vergleich der durchschnittlich benötigte Zeit um T-max. zu erreichen bei der indirekten Methoden an zwei Messstellen mit zwei Instrumententypen in zwei unterschiedlichen Größen; deskriptive Darstellung (Mittelwerte und Standardabweichungen (n=24)).

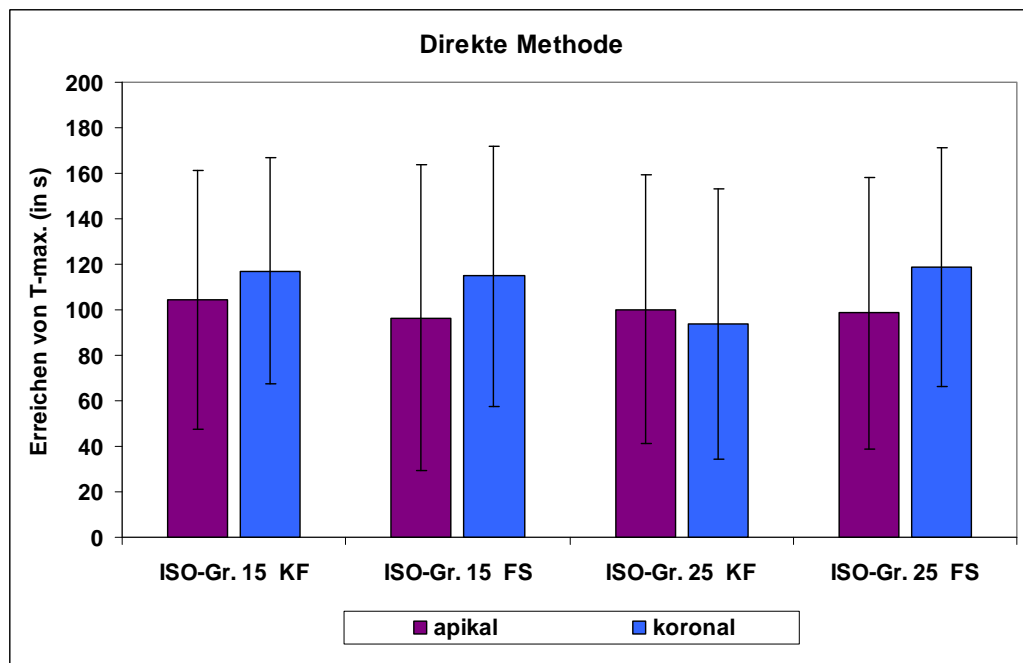


Abb. 12: Vergleich der durchschnittlich benötigte Zeit um T-max. zu erreichen bei der direkten Methoden an zwei Messstellen mit zwei Instrumententypen in zwei unterschiedlichen Größen; deskriptive Darstellung (Mittelwerte und Standardabweichungen (n=24)).

4.2.2 Kerr-Feile ISO-Größe 25

Auch bei dieser ISO-Größe ließ sich nach indirekter als auch nach direkter Ultraschallaktivierung der Kerr-Feile ISO-Größe 25 eine Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal messen, (Abb. 9). Nach indirekter Aktivierung konnte koronal eine Temperaturerhöhung (ΔT) von $7,90 \pm 4,20^\circ\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde nach $t = 137,88 \pm 39,73$ s erreicht. Apikal wurde ein ΔT von $4,62 \pm 2,86^\circ\text{C}$ gemessen, das Temperaturmaximum wurde hier nach $t = 129,83 \pm 44,89$ s erreicht.

Nach der direkten Aktivierung fiel die Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal geringer aus, was aber statistisch nicht zu sichern war (apikal: $p=0,11$; koronal: $p=0,18$). Das Temperaturmaximum wurde tendenziell im apikalen Bereich ($p=0,10$) und statistisch signifikant im koronalen Bereich deutlich ($p \leq 0,05$) schneller erreicht. So konnte koronal ein ΔT von $6,89 \pm 3,24^\circ\text{C}$ und apikal ein $\Delta T = 3,65 \pm 2,16^\circ\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde koronal nach $t = 93,63 \pm 59,64$ s und apikal nach $t = 100,21 \pm 59,08$ s erreicht (Abb. 10).

4.2.3 Fingerspreader ISO-Größe 15

Auch bei dieser ISO-Größe ließ sich nach indirekter als auch nach direkter Ultraschallaktivierung des Fingerspreaders ISO-Größe 15 eine Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal feststellen (Abb. 9). Nach indirekter Aktivierung konnte koronal eine Temperaturerhöhung (ΔT) von $9,63 \pm 3,40^\circ\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde nach $t = 129,96 \pm 40,76$ s erreicht. Apikal wurde ein ΔT von $4,74 \pm 2,47^\circ\text{C}$ gemessen, das Temperaturmaximum wurde hier nach $t = 135,12 \pm 42,28$ s erreicht. Nach

Ergebnisse

der direkten Aktivierung fiel die Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal geringer aus, was aber statistisch nicht zu sichern war (apikal: $p=0,34$; koronal: $p=0,08$). Das Temperaturmaximum wurde im koronalen Bereich tendenziell ($p=0,30$) und im apikalen Bereich deutlich ($p\leq 0,05$) schneller erreicht. So konnte koronal ein ΔT von $8,47\pm 3,91^{\circ}\text{C}$ und apikal ein $\Delta T = 4,18\pm 1,49^{\circ}\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde koronal nach $t = 114,83\pm 57,03$ s und apikal nach $t = 96,46\pm 67,20$ s erreicht (Abb.10).

4.2.4 Fingerspreader ISO-Größe 25

Sowohl nach direkter als auch nach indirekter Ultraschallaktivierung des Fingerspreaders ISO-Größe 25 ließ sich eine Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal messen (Abb. 9). Nach indirekter Aktivierung konnte koronal eine Temperaturerhöhung (ΔT) von $7,19\pm 3,22^{\circ}\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde nach $t = 133,79\pm 34,83$ s erreicht. Apikal wurde ein ΔT von $4,23\pm 2,64^{\circ}\text{C}$ gemessen, das Temperaturmaximum wurde hier nach $t = 129,79\pm 42,2$ s erreicht. Nach der direkten Aktivierung fiel die Temperaturerhöhung sowohl apikal als auch koronal höher aus, welche apikal aber statistisch nicht zu sichern ist ($p=0,18$). Beim Fingerspreader ISO-Größe 25 koronal lässt sich beobachten, dass direkt der Temperaturanstieg stärker ausgeprägt war ($p\leq 0,05$). Das Temperaturmaximum wurde aber auch tendenziell im koronalen Bereich ($p=0,30$) und im apikalen Bereich statistisch signifikant ($p=0,05$) schneller erreicht. So konnte koronal ein ΔT von $10,63\pm 4,85^{\circ}\text{C}$ und apikal ein $\Delta T = 5,14\pm 3,49^{\circ}\text{C}$ gemessen werden. Das Temperaturmaximum wurde koronal nach $t = 118,83\pm 52,52$ s und apikal nach $t = 98,63\pm 59,63$ s erreicht (Abb.10).

4.3 Einfluss der Größe

Um den Einfluss der Größe des Instruments zu untersuchen, wurde über alle Werte je Größe unabhängig von Instrumententyp, Methode und Lage des Messpunktes der Mittelwert der Temperaturerhöhung gebildet. Dieser ergab für die Instrumente der ISO-Größe 15 ein $\Delta T = 6,66 \pm 3,51^\circ\text{C}$. Der Wert für die Instrumente der ISO-Größe 25 lag mit $\Delta T = 6,28 \pm 4,01^\circ\text{C}$ geringfügig darunter. Der Unterschied der beiden ISO-Größen war nicht signifikant ($p=0,48$).

4.4 Einfluss der Lage

Um den Einfluss der Lage des Messpunktes zu untersuchen, wurde über alle Werte je Lage unabhängig von Instrumententyp, -größe und angewandte Methode der Mittelwert der Temperaturerhöhung gebildet. Dieser ergab für die apikale Lage ein $\Delta T = 4,45 \pm 3,78^\circ\text{C}$. Der Wert für die koronale Lage lag mit $\Delta T = 8,49 \pm 2,45^\circ\text{C}$ deutlich höher. Der Unterschied der beiden Lagen war signifikant ($p \leq 0,001$).

4.5 Einfluss der Methode

Um den Einfluss der angewandten Methode zu untersuchen, wurde über alle Werte je Methode unabhängig von Instrumententyp, Lage und Größe des Instruments der Mittelwert der Temperaturerhöhung gebildet. Dieser ergab für die direkte Methode ein $\Delta T = 6,39 \pm 3,88^\circ\text{C}$. Der Wert für die indirekte Methode lag mit $\Delta T = 6,55 \pm 3,66^\circ\text{C}$ geringfügig darüber. Der Unterschied der beiden Methoden war nicht signifikant ($p=0,06$).

4.6 Einfluss des verwendeten Instrumentes

Um den Einfluss der verwendeten Instrumente zu untersuchen wurde über alle Werte je Instrument unabhängig von Methode, Lage und Größe des Instruments der Mittelwert der Temperaturerhöhung gebildet. Dieser ergab für die Kerr- Feile ein $\Delta T = 6,17 \pm 3,45^\circ\text{C}$. Der Wert für den Fingerspreader lag mit $\Delta T = 6,78 \pm 4,04^\circ\text{C}$ geringfügig darüber. Der Unterschied der beiden Methoden war allerdings signifikant ($p \leq 0,05$).

4.7 Kontinuierliche Spülung

Mit der ISO-Größe 15 Fingerspreader wurde eine weitere Untersuchung mit kontinuierlicher Spülung hinzugefügt. Die negativen Temperaturentwicklungen bei dieser Versuchsgruppe spiegeln den Effekt im hohen Maße wieder und bedürfen keiner anschaulichen Abbildung. Folgend kam es zu einer Kühlung: apikal wurde $\Delta T = -0,38 \pm 0,59^\circ\text{C}$ gemessen; koronal war der Wert $\Delta T = -1,55 \pm 1,9^\circ\text{C}$ anzutreffen.

4.8 Volumen des Wurzelkanals

Das durchschnittliche Volumen und das Ausmessen der einzelnen Proben wurde wie im Kapitel 3.2.3 ausführlich erwähnt. Das Ergebnis dieser Ausmessung betrug $0,033 \pm 0,008$ ml (Anhang XI).

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methode

In der Medizin und der Zahnmedizin werden neue Behandlungsmethoden häufig in Form von In-vitro-Untersuchungen geprüft. In der Zahnheilkunde interessiert besonders das Verhalten eines neuen Verfahrens unter den Bedingungen in der Mundhöhle. Dazu werden die einflussnehmenden Parameter der Mundhöhlensituation im Studienaufbau möglichst genau simuliert. Aus den Ergebnissen können dann Rückschlüsse in Bezug auf die klinische Eignung und Zuverlässigkeit gezogen werden. Endodontische In-vitro-Untersuchungen können sowohl mit künstlichen Wurzelkanälen in Kunststoffprobekörpern als auch mit natürlichen Wurzelkanälen extrahierter menschlicher Zähne durchgeführt werden. Verschiedene Materialeigenschaften der eingesetzten Kunststoffe, wie die Wärmeleitung, unterscheiden sich von natürlichen Zähnen, weswegen eine Übertragung der erhaltenen Erkenntnisse auf die klinische Situation nur unter Vorbehalt geschehen kann. Daher wird die Verwendung extrahierter Zähne von einigen Autoren bevorzugt [44,116]. Das Verständnis für das Auftreten von Komplikationen bei der Anwendung der neuen Methoden in der Praxis wird erleichtert, weil man die zu untersuchenden Methode bereits in der Form testet, in der man sie später in vivo einsetzen will. Dennoch stellt jeder noch so durchdachte In-vitro-Test nur eine technische Annäherung an die klinische Situation dar, weil die Bedingungen in vivo nicht einheitlich, sondern individuell verschieden sind.

In der vorliegenden Studie wurde sehr genau darauf geachtet, die Versuchsdurchführung praxisnah zu gestalten. Deshalb wurden extrahierte, kariesfreie, aber mit Füllungen versorgte, menschliche Prämolaren verwendet. Aufgrund der anatomischen Individualität der menschlichen Zähne wurden sehr ähnliche, jedoch keine identischen Geometrien der Versuchszähne

vorgefunden. Dies betrifft sowohl die Länge und die Breite der Wurzel, als auch die Wurzelkanäle; sie zeigen teils starke Variationen bezüglich ihrer Kanalmorphologie [90], wobei auf die Zahnlänge geachtet wurde, sodass sie in einer engen Spannbreite liegt. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitungstechnik mit Nickel-Titan gefertigten Instrumenten wurde der manuellen Aufbereitungstechnik vorgezogen, weil durch ihre hohe Flexibilität eine gute und gleichmäßige Formgebung der Kanalwände zu erzielen ist [88].

Auf die Einheitlichkeit der Versuchszähne, trotz der hohen Individualität, wurde besonders geachtet, denn nur so kann die Aussagefähigkeit der Ergebnisse erhöht werden. Ebenso sollten die Versuchsbedingungen innerhalb einer Versuchsreihe identisch sein. Nur so erhält man Messergebnisse mit einer möglichst geringen Streuung. Zur Herstellung der Versuchszähne wurden alle Methoden in einer identischen Reihenfolge mit dem gleichen Arbeitsaufwand angewendet (siehe Kapitel 3.8). In dieser Studie wurden zusätzlich die Lagerung und die Versuchsdurchführung bei 37°C gewählt, um den Verhältnissen in der Mundhöhle möglichst nahe zu kommen [22,65]. Bei der Temperaturmessung wurden Thermoelemente verwendet, weil sie sehr flexibel und einfach in der Handhabung sind sowie sich besonders zur Temperaturmessung an schwer zugänglichen Stellen eignen.

Auch beim Anlegen der Messstellen ist eine grundlegende Überlegung erfolgt, wo durch die anatomischen Verhältnisse unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten sind. Somit sind zwei Messstellen festgelegt worden. Durch die Messung in diesem Bereich der Zahnwurzel sollte abgeklärt werden, ob eine Temperaturerhöhung zu erwarten ist, womit die antimikrobielle Wirkung und die Effektivität der Gewebeauflösung gesteigert wird, oder, durch eine hohe Temperatur, umliegendes Gewebe beschädigt würde.

Die 2. Messstelle wurde so ausgewählt, dass der Abstand zu der 1. Messsonde groß genug ist, um unterschiedliche Areale des Wurzelkanals zu beurteilen. So wurde die 2. Messsonde 7 mm vom Foramen apikale platziert. Durch die verschiedenen Lagen der Messsonden soll die Temperaturerhöhung von zwei unterschiedlichen Bereichen im Kanal gemessen werden, da das

Temperaturverhalten von unterschiedlichen Mengen an Spüllösung im Kanal verschieden sein kann. Folglich ist das Volumen der Spüllösung im koronalen Bereich wegen der konischen Aufbereitung größer, als im apikalen Bereich der Zahnwurzel.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Eine besondere Stellung bei der Eliminierung der Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem hat die chemische Aufbereitung, weil durch die Spüllösung vermehrt unzugängliche Wurzelkanalareale erreicht werden können. Natriumhypochlorit (NaOCl) wird in unterschiedlichen Konzentrationen häufig für die chemische Aufbereitung verwendet. Die antimikrobielle und die gewebeauflösende Wirkung von NaOCl ist unbestritten [13,104]. Es ist bekannt, dass die Effektivität von NaOCl durch die Erwärmung der Lösung verbessert wird [25,26]. In einer Studie wurde gezeigt, dass NaOCl bei 40°C einen so genannten „Siedepunkt“ hat, bei dem der Komplex in seine Einzelteile zerfällt, wodurch vermehrt Radikale entstehen, die zur besseren Gewebsauflösung führten [24].

Ultraschall hat eine sehr große Anwendungsmöglichkeit in der gesamten Zahnheilkunde, z.B. in der Parodontologie, Chirurgie und in der Endodontie. In der Endodontie wird der Ultraschall zu unterschiedlichen Verwendungszwecken genutzt. Ultraschall kann zur Wurzelkanalaufbereitung, zur Verdichtung der Wurzelfüllung, zur Entfernung von Stiften und frakturierten Instrumenten im Kanal sowie zur effektiveren Ultraschallspülung angewandt werden.

In dieser Studie wurde erstmals das Temperaturverhalten von Spüllösung (NaOCl) im Wurzelkanal während der passiven ultraschallaktivierten Spülung (PUI) untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass unabhängig von den zu untersuchenden Parametern bei der intermittierenden Spülmethode während

Diskussion

der PUI ein Temperaturanstieg zu beobachten war. Dieser Temperaturanstieg ist auf die Wirkungsweise des Ultraschalls zurück zuführen. Die primäre Wirkung des Ultraschalls beruht auf akustischen Mikroströmungen und Kavitation; und die sekundäre Wirkung ist die Wärmeentwicklung im liquiden Medium durch Absorption der mechanischen Energie und auch durch die Reibungswärme. Die mechanische Schwingungsenergie kann an dem Instrument selbst und in der Umgebung zu einer Erwärmung führen. Die Temperaturerhöhung kann durch die Umwandlung von kinetischer oder potentieller Energie in Wärmeenergie erfolgen.

Wärme $Q =$ kinetische Energie W_{kin} + potentielle Energie W_{pot} in [J] [71].

Für diesen Effekt des Ultraschalls werden zwei Mechanismen verantwortlich gemacht; die Kavitation und/oder die akustische Strömung [4]. Während in früheren Studien der Reinigungseffekt vor allem auf den Kavitationseffekt zurückgeführt wurde, bewiesen neuere Studien, dass auch akustische Strömungsphänomene, „acoustic microstreaming“, mitverantwortlich sind [103].

Die Kavitation wird vermehrt in flüssigen Medien beobachtet. Bei der Kavitation entstehen Kavitationsblasen, welche mit Gas oder Dampf gefüllt sind. Zunächst wächst die Kavitationsblase im Laufe einiger Schwingungszyklen bis sie ihr Maximum erreicht. Dabei nimmt jede Blase sehr viel Energie aus der Umgebung auf. Nach dem Erreichen des Maximums kollabiert die Blase. Diesen Vorgang bezeichnet man als Implosion. Dabei wird die gesamte, beim Wachstum aufgenommene Energie im Nanosekundenbereich wieder frei. Es entsteht ein Druck-Vakuum-Effekt, wodurch zielgerichtet Mikroorganismen abgetötet und Zellwände zerstört werden können. Der gesamte Kavitationsvorgang ist energetisch betrachtet eine Transformation, die transiente Kavitationsblase wirkt wie ein Energietrafo. Bei diesem Effekt ist es denkbar, dass es zu einer Temperaturerhöhung der gesamten Spüllösung kommen kann. Die Energieabgabe geschieht in Form von enormer „adiabatischer“ Erwärmung durch die sehr schnelle Kompression des Gases

oder Dampfes in der Blase. Es wurden in Mikroarealen um den Ort der Implosion Temperaturen bis 5000 Kelvin nachgewiesen [31,84].

Unter dem Begriff „akustische Strömung“ versteht man die Erzeugung einer zeitunabhängigen, ständig in einer Richtung verlaufenden Flüssigkeitszirkulation in der unmittelbaren Nachbarschaft eines kleinen, schwingenden Objekts. Dieser Nebeneffekt eines Schallfeldes zeigt ein charakteristisches Muster das von innen nach außen, einem Wirbel gleich, entlang der gesamten Länge des Instrumentes geht. Der durch die Wirbel erzeugte Effekt führt den Flüssigkeitsstrom zielgerichtet vom apikalen zum koronalen Teil des Instrumentes, wodurch die Spüllösung in unerreichbare Areale hineingefördert und somit die Reinigung des Wurzelkanalsystems erhöht wird [4,114]. Krell et al. [56] stellten fest, dass dieser Flüssigkeitsstrom den ersten Schwingungsknoten nicht passiert, solange die Feile keine freie Bewegung im Kanallumen ausführt. Ahmed et al. [4] folgerten, dass eine optimale Ausnutzung der Mikroströmung zur Reinigung des Wurzelkanals nur mit einem freischwingenden, kleinen Instrument erzielt werden kann. Durch die akustische Mikroströmung werden Bakterien, Erythrozyten und Thrombozyten zersetzt.

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass die Temperaturerhöhung im koronalen Bereich signifikant größer war als im apikalen Bereich. Dieses Ergebnis korreliert nicht mit der Studie von Cameron von 1988. In der Studie wurde an der Instrumentenspitze, d.h. im apikalen Bereich, höhere Temperaturwerte (bis zu 45°C) erreicht als im koronalen Bereich [20]. Eine Erklärung für dieses Verhalten könnte sein, dass trotz der durchgeführten radiologischen Kontrolle vor der Aktivierung des Instruments sowohl in koronalen als auch im apikalen Anteil frei im Kanal liegt. Nach der Aktivierung kann es aber im apikalen Bereich zu einem Kanalwandkontakt kommen, da sich, durch die konische Präparation nach apikal der Kanaldurchmesser verringert. Da das Instrument am Arbeitsende den größten Ausschlag bei der Schwingung zeigt [4] und durch die Schwingung des Instruments ein unkontrollierter Kanalinnenwandkontakt nicht auszuschließen ist, kann somit die

Energieübertragung nach apikal reduziert werden [56]. Bei der Unterbrechung des Energieflusses kann die Wärmeabgabe vermindert sein [3]. Diese Aussage kann auch mit der Studie von Cameron [20] miterklärt werden, weil in der Studie ein Eckzahn mit einem nicht abgeschlossenen Wurzelwachstum verwendet wurde, welcher von dem Kanaldurchmesser apikalwärts nicht konisch abnimmt, sondern das Kanallumen nimmt eher divergierend zu. Damit ist das Risiko des unkontrollierten Kanalinnenwandkontaktes mit dem Instrument während der PUI viel geringer. Das Instrument kann frei schwingen und die Energieleitung kann und auch die Temperaturerhöhung ungehindert erfolgen.

Ein anderer Grund für die unterschiedliche Temperaturerhöhung der unterschiedlichen Messstellen kann eine physikalische Erklärung haben. In Flüssigkeiten und in Gasen erfolgt der Wärmetransport hauptsächlich durch Konvektion. Die freie Konvektion ist so definiert, dass die wärmsten Schichten der Flüssigkeit sich ausdehnen und die Dichte somit abnimmt und bei den kälteren Schichten die Dichte zunimmt. Infolge des größeren Auftriebs steigen sie nach oben, die kältesten Schichten sinken nach unten. Ob dieses Phänomen in Rahmen dieser Studie im Wurzelkanal eine Rolle spielt, kann anhand der Daten jedoch nicht beantwortet werden.

In dieser Studie konnte eine durchschnittliche Temperaturerhöhung im koronalen Bereich von $8,49 \pm 2,45^\circ\text{C}$ und im apikalen Bereich von $4,45 \pm 3,78^\circ\text{C}$ in dem Wurzelkanal beobachtet werden. Wenn die Ausgangstemperatur von 37°C festgelegt wird, können Maximaltemperaturen bis $45,5^\circ\text{C}$ im koronalen Bereich und $41,5^\circ\text{C}$ apikalen Bereich erreicht werden. Bei längerer Einwirkung von hohen Temperaturen auf vitales Gewebe, z.B. der umliegenden Strukturen, kann es zu einer irreversiblen Gewebeschädigung führen. Das Dentin besitzt eine gute, isolierende Eigenschaft und die Wärmeleitfähigkeit von Dentin beträgt $0,6 \text{ W/m K}$ [62]. Natürlich ist die isolierende Eigenschaft auch von der Dentinschichtdicke abhängig: je größer die Schichtdicke, desto besser ist die Isolation. Somit ist die Gefahr der Schädigung der desmodontalen Strukturen im koronalen Bereich auch gemindert, da generell die Zähne, wegen des konischen Verlaufs der Wurzel, mehr Dentinmasse aufweisen als im apikalen

Bereich. In der Arbeit von Cameron [20] wurde die Temperaturentwicklung parallel in dem Wurzelkanal und auf derselben Höhe auf der Wurzeloberfläche außerhalb gemessen. In dem Wurzelkanal wurde Maximaltemperatur von 45°C und auf der Wurzeloberfläche außerhalb von 40°C ermittelt, obwohl die Höchsttemperaturen im apikalen Bereich, mit einer Dentinschichtstärke von 0,6 mm festgestellt wurden.

Bezüglich der verwendeten Instrumente konnte gezeigt werden, dass die Temperaturerhöhung nach der Anwendung des Fingerspreaders höher war als nach der Anwendung der Kerr-Feilen, was statistisch zu sichern war ($p \leq 0,05$). Dies könnte man dem größeren Instrumentenkern, somit einer größeren Masse des Fingerspreaders zuschreiben. Die Temperaturveränderung eines bestimmten Materials ist proportional zur Masse. Da auch im koronalen Bereich das Instrument im Durchmesser größer ist, kann mehr Ultraschallschwingungsenergie in Wärme umgewandelt werden [71].

Dementsprechend spielt auch das Volumen der verwendeten Spüllösung in dem Wurzelkanal eine bedeutende Rolle bei der Temperaturentwicklung. Alle Zähne wurden in Hinblick auf das jeweilige Volumen ausgemessen. Durch die Volumenmessung sollte die Menge der Spüllösung in dem jeweiligen Kanal bestimmt werden. Das diente dazu, dass das Verhältnis der benötigten Spüllösung zu dem verwendeten Instrument nahezu gleich bleibt. Es ist bekannt, dass bei größeren Volumen mehr Energie benötigt wird, um die Temperatur um 1°C zu erhöhen, als bei geringeren Mengen [71]. Das Ausmessen der einzelnen Proben wurde im Kapitel 3.2.3 ausführlich erwähnt. Das durchschnittliche Volumen entsprechend dieser Ausmessung beträgt $0,033 \pm 0,008$ ml (siehe Anhang XI). Es ist zu erkennen, dass das durchschnittliche Volumen der Proben eher vernachlässigbar klein ist, welches aber in Relation mit dem zu aktivierenden Instrument betrachtet werden sollte. Durch die Verwendung von viel größeren Volumina, wie z.B. kontinuierliche Spülung, ist zu erkennen, dass die Temperatur sinkt. Wie die Temperaturentwicklung bei geringerer Volumensteigerung ist, sollte noch abgeklärt werden.

In der Literatur werden Instrumentengrößen von ISO-Größe 15-25 für die PUI empfohlen [4,111], wobei die ISO-Größe 25 nur bei weiten Wurzelkanälen angewandt werden sollte, weil dadurch die akustische Mikroströmung vermindert sein kann [56,111]. In dieser Studie konnte kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Temperaturentwicklung bei beiden Instrumentengrößen ISO-Größe 15 und ISO-Größe 25 festgestellt werden. Ein Grund dafür, dass sich kein Unterschied zwischen den beiden Größen ergeben hat, war die mechanische Aufbereitungsgröße bis ISO-Größe 60, die für weite Kanäle empfohlen wird. Damit war die freie Schwingung für beide Instrumentgrößen gewährleistet. Da in der Endodontie eine Aufbereitungsgröße von mindestens ISO-Größe 35 [42,54] empfohlen wird, sollte ein Instrument maximal der ISO-Größe 15 für die PUI verwendet werden.

Auch bei den angewandten Methoden konnte kein signifikanter Unterschied erkannt werden. Da es in der Literatur überhaupt keine Empfehlung für die Art der Ultraschallaktivierung gibt, die direkte Methode oder die indirekte Methode, sollte von der einfachen Bedienung her, die direkte Methode für die PUI empfohlen werden. Während der PUI ist das Instrument im Kanal kontrollierbar, der Wandkontakt kann vermieden werden [56]. Der Behandler ist nicht mit beiden Händen während der PUI eingebunden, sondern kann jederzeit Spüllösung in den Kanal bei längerer Anwendung der PUI bringen.

In der Literatur ist kein Unterschied in der Effizienz der Reinigung der Wurzelkanäle zwischen dem Fingerspreader (nicht schneidende Instrumente) und der Kerr-Feilen (schneidende Instrumente) bei der PUI festgestellt worden [112]. Bei der Verwendung von Kerr-Feilen kann es allerdings zu einer Verlagerung des Kanalverlaufes, Stufenbildung oder auch zu einer seitlichen Perforation kommen [63]. Somit ist die Anwendung von Fingerspreader in zweifacher Hinsicht zu empfehlen; zum einen ist die Temperaturerhöhung größer als die Kerr-Feile und zum anderen ist das Risiko der Beeinträchtigung der Kanalform verringert.

Zwei Spülverfahren kann man während der PUI durchführen, zum einen die kontinuierliche Spülung und zum anderen die intermittierende Spülung. Beide Spülverfahren unterscheiden sich in ihrer Effektivität der Entfernung von Dentinebris und organischem Gewebe nicht [70,120], auch wenn die PUI drei Minuten dauert [110].

In dieser Studie wurden beide Verfahren in Bezug auf die Temperaturerhöhung einer ausgewählten Gruppe miteinander genau für drei Minuten verglichen: die kontinuierliche Spülung und die intermittierende Spülung (Gruppen 4b und 5b; Fingerspreader ISO-Größe 15 direkt). Die Fließgeschwindigkeit während der kontinuierlichen Spülung wurde auf 2ml/60 s festgelegt. Bei der kontinuierlichen Spülung kam es nicht zu einer Temperaturerhöhung, sondern im Gegenteil zu einer Kühlung der Spüllösung von dem Ausgangswert von 37°C ausgehend. Folgend wurde apikal $\Delta T = -0,38 \pm 0,59^\circ\text{C}$ gemessen: koronal war der Wert $\Delta T = -1,55 \pm 1,9^\circ\text{C}$ anzutreffen. Cameron [20] erhob ähnliche Ergebnisse; er stellte bei der kontinuierlichen Spülung deutlichere Temperaturabkühlung fest, wobei er eine größere Fließgeschwindigkeit (15ml/30s) der Spüllösung verwendete. Daher ist es zu vermuten, dass die stärkere Abnahme der Temperatur auf die Flüssigkeitsumsatz im Wurzelkanal zurückzuführen ist.

Der Aspekt der Spüldauer bei der PUI ist in der Literatur unklar definiert. Es gibt keinen Zusammenhang in Bezug auf die Dauer und der Effektivität der Spülung. Die Studie von Passarinho-Neto et al. [75] sagt aus, dass bei gleichem Volumen der verwendeten Spülflüssigkeit in unterschiedlich langer Spüldauer, die Entfernung von Dentinebris bei längerer Spülungszeit ausgeprägter ist. In einer anderen Studie [85] gibt es keine signifikante Differenz zwischen unterschiedlich langer Spülung.

In dieser Studie wird gezeigt, dass bei allen zu untersuchenden Gruppen das Temperaturmaximum durchschnittlich nach 2 Minuten Spüldauer erreicht wird. Folglich kann die Effektivität der NaOCl-Lösung erst nach mindestens 2 Minuten Spülzeit ihre maximale Wirkung erreichen.

Als Fazit dieser Untersuchung kann festgelegt werden, dass die PUI bei der chemischen Desinfektion eine bedeutende Rolle spielen kann, sie aber als ein zusätzliches Hilfsmittel zur Verbesserung der Effektivität von NaOCl anzusehen ist. Bei der Anwendung der PUI sollte darauf geachtet werden, dass eine nicht schneidendes Instrument (Fingerspreader) und eine kleine Instrumentengröße z.B. ISO-Größe 15 verwendet werden sollte. Das Instrument sollte aus praktischen Gründen mit der direkten Methode aktiviert wird. Die Dauer der PUI sollte mindestens 2 Minuten betragen.

6 Zusammenfassung

In dieser In-vitro-Untersuchung wurde das Temperaturverhalten bei passiver ultraschallaktivierte Spülung (PUI) mit verschiedenen Ultraschallaktivierungsmethoden im Wurzelkanal bei Verwendung von NaOCl als Spülflüssigkeit ermittelt. Hierzu wurden 24 extrahierte, kariesfreie, mit Füllungen versorgte Prämolaren verwendet, die bis Größe 02/60 maschinell (Flexmaster®) aufbereitet wurden. Zwei Messstellen wurden angelegt; 1 mm (apikal) und 7 mm (koronal) vom Foramen apikale entfernt. Zur Messung der Temperaturentwicklung im Wurzelkanal wurden Thermoelemente (Fa. Keithley Instruments) verwendet. Die Ultraschallaktivierung dauerte pro Methode 3 Minuten. Bei der Ultraschallaktivierung mit dem Piezon Master 400® sind vier Gruppen mit zwei verschiedenen Instrumentengrößen (ISO-Größe 15 und 25) miteinander verglichen worden. Die Reihenfolge der verschiedenen Methoden wurde so festgelegt, dass alle möglichen Kombinationen der Reihenfolge einmal vorkamen. Die Gruppen wurden entsprechend der jeweiligen Methode und dem Instrumententyp unterteilt; Gruppe 1: indirekte Methode mit der Kerr-Feile, Gruppe 2: direkte Methode mit der Kerr-Feile, Gruppe 3: indirekte Methode mit dem Fingerspreader, Gruppe 4: direkte Methode mit dem Fingerspreader, Gruppe 5: direkte Methode mit dem Fingerspreader bei kontinuierlicher Spülung.

Nach dem Anbringen der Messsonden wurden die Zähne bis zur Schmelz-Zement-Grenze ins Wasserbad bei 37°C eingetaucht. Anschließend wurde die Spülflüssigkeit (NaOCl) bis zur Trepanationsöffnung appliziert. Nach der Applikation der Spülflüssigkeit wurde das angewandte Instrument in die festgelegte Tiefe in den Wurzelkanal eingeführt; im Anschluss wurde die passive Aktivierung des Instruments eingeleitet. Die Messzeit dauerte genau 3 Minuten. Nach Durchführung der Messungen in der festgelegten Reihenfolge wurden die Messsonden entfernt und am nächsten Zahn angebracht. Alle zu

Zusammenfassung

untersuchenden Methoden wurden an allen Zähnen erfolgreich in der festgelegten Reihenfolge durchgeführt.

Bei allen Methoden konnte eine Temperaturerhöhung beobachtet werden. Es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Methoden festzustellen, mit Ausnahme des Parameters „Lage“. Die Messungen ergaben einen signifikant höheren Temperaturanstieg im koronalen Bereich als im apikalen Bereich bei allen Methoden. Auffällig war auch die Temperaturdifferenz bei den Instrumenttypen; Fingerspreader bewirkten einen höheren Temperaturanstieg als Kerr-Feilen.

Da ein Temperaturanstieg der NaOCl- Spülflüssigkeit zur Erhöhung der antimikrobiellen und gewebeauflösenden Effektivität erwünscht ist, kann die PUI zur besseren Reinigung des Wurzelkanalsystems empfohlen werden.

7 Summary

In this In-vitro-Experiment the temperature behaviour in the root canal was ascertained, under passive ultrasonic irrigation (PUI) using different ultrasonic activation methods with the irrigation liquid NaOCl. For this purpose 24 extracted premolars, mechanically prepared to the size of 02/60 (Flexmaster), were used. All teeth were free of caries and had been provided with fillings. Two measuring points were set up; 1mm (apical) and 7mm (coronal) away from the foramen apical. Thermo elements (Fa. Keithley Instruments) were used for measuring the temperature development in the root canal. The ultrasonic activation lasted 3 minutes per method. In the ultrasonic activation with the Piezon Master 400, four groups, each with two different instrument sizes (ISO 15 and 25) were compared. The order of the to be effected methods on the 1-24 numbered teeth was set, so that all possible combinations of the order could be carried out once. The groups were subdivided into the respective method and instrument type; Group 1: indirect method, with the Kerr-file, Group 2: direct method with the Kerr-file, Group 3: Indirect method with the finger spreader, Group 4: direct method with the finger spreader, Group 5: direct method with the finger spreader continuous rinsing.

After the measuring probes had been deployed on the to be examined tooth and submersed in a water bath 37°C to the enamel-cement-border, the irrigation liquid (NaOCl) was applied up to the trepanation opening. After applying the irrigation liquid, the respective instrument was inserted into the root canal to the defined depth; subsequently, the passive activation of the instrument was induced. The measurement duration lasted exactly 3 minutes. After the measurement, the other methods in the defined order were carried out on the same tooth.

Summary

After all methods had successfully been measured on the tooth, the measuring probes were removed and deployed on the next tooth. All to be examined methods were successfully conducted on all teeth, in the defined order.

All methods showed a rise in temperature. There were no significant differences to be found between the different methods, with exception to the parameter "localisation". The measurements showed a higher rise in temperature in the coronal area than in the apical area in all methods, which was significant.

Conspicuous was the temperature difference between the different types of instrument. Finger spreaders showed a higher rise in temperature than the Kerr-Files. Consequentially, PUI can be recommended for improved cleansing of the root canal with regard to the double effectiveness of the method; through the acoustic micro-streaming and cavitation; and the proven temperature rise of the rinsing liquid especially with NaOCl.

8 Literaturverzeichnis

- 1 ABOU-RASS, M., OGLESBY, S. W.:

The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite.
J Endod 7: 376-377 (1981)
- 2 ABOU-RASS, M., PICCICININO, M. V.:

The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 54: 323-328 (1982)
- 3 AHMAD, M.:

Measurements of temperature generated by ultrasonic file in vitro.
Endod Dent Traumatol 6: 230-231 (1990)
- 4 AHMAD, M., PITT FORD, T. R., CRUM, L. A.:

Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role.
J Endod 13: 490-499 (1987)
- 5 AHMAD, M., PITT FORD, T. R., CRUM, L. A., WALTON, A. J.:

Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance.
J Endod 14: 486-493 (1988)
- 6 AHMAD, M., PITT FORD, T. R., CRUM, L. A., WILSON, R. F.:

Effectiveness of ultrasonic files in the disruption of root canal bacteria.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 70: 328-332 (1990)

- 7 AL-JADAA, A., PAQUÉ, F., ATTIN, T., ZEHNDER, M.:
Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in
simulated accessory canals: impact of canal location and angulation.
Int Endod J 42: 59-65 (2009)

- 8 ANDERSEN, M., LUND, A., ANDREASEN, J. O., ANDREASEN, F. M.:
In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium
hypochlorite.
Endod Dent Traumatol 8: 104-108 (1992)

- 9 BAHCALL, J. K., BARSS, J. T.:
Understanding and evaluating the endodontic file.
Gen Dent 48: 690-692 (2000)

- 10 BARTHA, T., WEIGER, R., LÖST, C.:
Querschnittskonfigurationen von Molaren in der Nähe des apikalen
Foramens.
Endodontie 13: 111-118 (2004)

- 11 BASRANI, B., TJÄDERHANE, L., SANTOS, J. M., PASCON, E., GRAD,
H., LAWRENCE, H. P., FRIEDMAN, S.:
Efficacy of chlorhexidine- and calcium hydroxide-containing medicaments
against *Enterococcus faecalis* in vitro.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96: 618-624 (2003)

- 12 BAUGH, D., WALLACE, J.:
The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the
literature.
J Endod 31: 333-340 (2005)

- 13 BAUMGARTNER, J. C., CUENIN, P. R.:
Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation.
J Endod 18: 605-612 (1992)

- 14 BLOOMFIELD, S. F., ARTHUR, M.:
Interaction of Bacillus subtilis spores with sodium hypochlorite, sodium dichloroisocyanurate and chloramine-T.
J Appl Bacteriol 72: 166-172 (1992)

- 15 BYSTRÖM, A., SUNDQVIST, G.:
Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy.
Scand J Dent Res 89: 321-328 (1981)

- 16 BYSTRÖM, A., SUNDQVIST, G.:
Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 55: 307-312 (1983)

- 17 BYSTRÖM, A., SUNDQVIST, G.:
The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy.
Int Endod J 18: 35-40 (1985)

- 18 CAMERON, J. A.:
The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study.
J Endod 9: 289-292 (1983)

- 19 CAMERON, J. A.:
The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: a scanning electron microscope evaluation.
J Endod 13: 541-545 (1987)
- 20 CAMERON, J. A.:
The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall.
J Endod 14: 554-559 (1988)
- 21 CARSON, K. R., GOODELL, G. G., MCCLANAHAN, S. B.:
Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic pathogens.
J Endod 31: 471-473 (2005)
- 22 CHERSONI, S., SUPPA, P., BRESCHI, L., FERRARI, M., TAY, F. R., PASHLEY, D. H., PRATI, C.:
Water movement in the hybrid layer after different dentin treatments.
Dent Mater 20: 796-803 (2004)
- 23 CHOW, T. W.:
Mechanical effectiveness of root canal irrigation.
J Endod 9: 475-479 (1983)
- 24 CRUM, L. A., ADINNO, M. A., AL-KARMI, A. M., STOLTZ, D. A., MATTHEWS, J. C.:
Effect of free radical scavengers on changes in ion conductance during exposure to therapeutic ultrasound.
Membr Biochem 10: 237-247 (1993)

- 25 CUNNINGHAM, W. T., BALEKJIAN, A. Y.:
Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 49: 175-177 (1980)
- 26 CUNNINGHAM, W. T., JOSEPH, S. W.:
Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 50: 569-571 (1980)
- 27 CUNNINGHAM, W. T., MARTIN, H., FORREST, W. R.:
Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53: 401-404 (1982)
- 28 DALTON, B. D., ORSTAVIK, D., PHILLIPS, C., PETTIETTE, M., TROPE, M.:
Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation.
J Endod 24: 763-767 (1998)
- 29 DAMMASCHKE, T.:
Natriumhypochlorit- eine Übersicht.
Endodontie 8: 9-19 (1999)
- 30 DIAMOND, A., CARREL, R.:
The smear layer: a review of restorative progress.
J Pedod 8: 219-226 (1984)
- 31 FLINT, E. B., SUSLICK, K. S.:
The temperature of cavitation.
Science 253: 1397-1399 (1991)

- 32 GOLDMAN, L. B., GOLDMAN, M., KRONMAN, J. H., LIN, P. S.:
The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning
electron microscopic study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 52: 197-204 (1981)
- 33 GULDENER, P. H. A. LANGELAND, K.:
Endodontologie
Thieme, Stuttgart (1982)
- 34 GULDENER, P. H. A. LANGELAND, K.:
Endodontologie - Diagnostik und Therapie
Georg Thieme Verlag, (1993)
- 35 HAAPASALO, M. P., ENDAL, U., ZANDI, H., COIL, J. M.:
Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation
solutions.
Endod Topics 10: 77-102 (2005)
- 36 HAND, R. E., SMITH, M. L., HARRISON, J. W.:
Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property
of sodium hypochlorite.
J Endod 4: 60-64 (1978)
- 37 HECKER, H., AMATO, M., WEIGER, R.:
Die Wurzelkanalspülung.
Zahnmedizin up2date 2: 89-108 (2007)
- 38 HELLWIG, E., KLIMEK, J., ATTIN, T.:
Einführung in die Zahnerhaltung.
Urban & Fischer Verlag, München (2006)

- 39 HESS, W.:
Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit
Berücksichtigung der feinen Verzweigungen am Foramen apicale.
Schweiz Vierteljahreschr Zahnheilk 27: 1-52 (1917)
- 40 HOTZ, P.:
Endodontie-aktuelle Fragen.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 99: 1063 (1989)
- 41 HÜLSMANN, M.:
Die maschinelle Aufbereitung des Wurzelkanals. Endodontie. Neue
Erkenntnisse aus der Praxis und Wissenschaft.
Schriftenreihe APW. Carl Hanser Verlag, Wien (1993)
- 42 HÜLSMANN, M.:
Die Aufbereitung des Wurzelkanals, In: HEIDEMANN, D. (hrsg.)
Endodontie
Urban und Fischer, München, Jena (2001), 79-122
- 43 HÜLSMANN, M.:
Die Desinfektion des endodontischen Systems.
Endodontie 15: 147-168 (2006)
- 44 HÜLSMANN, M., GRESSMANN, G., SCHÄFERS, F.:
A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and
HERO 642 rotary Ni-Ti instruments.
Int Endod J 36: 358-366 (2003)
- 45 HÜLSMANN, M., HAHN, W.:
Complications during root canal irrigation--literature review and case
reports.
Int Endod J 33: 186-193 (2000)

- 46 HÜLSMANN, M., HECKENDORFF, M., LENNON, A.:
Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications
for their use.
Int Endod J 36: 810-830 (2003)
- 47 HÜLSMANN, M., RÜMMELIN, C., SCHÄFERS, F.:
Root canal cleanliness after preparation with different endodontic
handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation.
J Endod 23: 301-305 (1997)
- 48 JENSEN, S. A., WALKER, T. L., HUTTER, J. W., NICOLL, B. K.:
Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and
passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root
canals.
J Endod 25: 735-738 (1999)
- 49 KAHN, F. H., ROSENBERG, P. A., GLIKSBERG, J.:
An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and
subsonic handpieces and irrigating needles and probes.
J Endod 21: 277-280 (1995)
- 50 KAKEHASHI, S., STANELY, H. R., FITZGERALD, R. J.:
The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and
conventional laboratory rats.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 20: 340-349 (1965)
- 51 KOÇKAPAN, C.:
Oberflächenstruktur der Kanalwand nach Aufbereitung mit vibrierenden
Instrumenten.
Dtsch Zahnärztl Z 41: 778-782 (1986)

- 52 KOÇKAPAN, C.:
Elektronmikroskopische Untersuchung über die Struktur der
Schmierschicht.
Dtsch Zahnärztl Z 42: 1028-1034 (1987)
- 53 KOÇKAPAN, C.:
Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung- eine
Übersicht.
Endodontie 2: 33-48 (1995)
- 54 KOÇKAPAN, C.:
Curriculum Endodontie
Quintessenz, Berlin (2003)
- 55 KONSENSPAPIER DER EUROPÄISCHEN GESELLSCHAFT FÜR
ENDODONTOLOGIE (EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY):
Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung.
Endodontie 15: 387-401 (2006)
- 56 KRELL, K. V., JOHNSON, R. J., MADISON, S.:
Irrigation patterns during ultrasonic canal instrumentation. Part I. K-type
files.
J Endod 14: 65-68 (1988)
- 57 LEE, S. J., WU, M. K., WESSELINK, P. R.:
The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris
from simulated irregularities within prepared root canal walls.
Int Endod J 37: 672-678 (2004)
- 58 LOVE, R. M.:
Enterococcus Faecalis: a mechanism for its role in endodontic failure.
Int Endod J 34: 399-405 (2001)

- 59 MARTIN, H.:
Ultrasonic disinfection of the root canal.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 42: 92-99 (1976)
- 60 MARTIN, H., CUNNINGHAM, W. T.:
Endosonics--the ultrasonic synergistic system of endodontics.
Endod Dent Traumatol 1: 201-206 (1985)
- 61 MARTIN, H., CUNNINGHAM, W. T.:
Endosonics-the ultrasonic synergistic system of endodontics.
Endod Dent Traumatol 1: 201-206 (1985)
- 62 MARXKORS, R. MEINERS, H.:
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffe
Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln (2005)
- 63 MAYER, B. E., PETERS, O. A., BARBAKOW, F.:
Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear
layer scores: a scanning electron microscopic study.
Int Endod J 35: 582-589 (2002)
- 64 MEHL, A., FOLWACZNY, M., HAFFNER, C., HICKEL, R.:
Bactericidal effects of 2.94 microns Er:YAG-laser radiation in dental root
canals.
J Endod 25: 490-493 (1999)
- 65 MEHL, A., HICKEL, R., KUNZELMANN, K. H.:
Physical properties and gap formation of light-cured composites with and
without 'softstart-polymerization.
J Dent 25: 321-330 (1997)

- 66 MERYON, S. D., BROOK, A. M.:
Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity.
Int Endod J 23: 196-202 (1990)
- 67 MEYER, G., HÜLSMANN, M.:
Die Aufbereitung des Wurzelkanals.
Zahnärztl Mitt 81: 864-870 (1991)
- 68 MEYER, W.:
Die anatomischen Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung.
Dtsch Zahnärztl Z 15: 777-786 (1960)
- 69 MEYER, W., SCHEELE, E.:
Die Anatomie der Wurzelkanäle.
Dtsch Zahnärztl Z 9: 551-553 (1954)
- 70 MOORER, W. R., WESSELINK, P. R.:
Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite.
Int Endod J 15: 187-196 (1982)
- 71 MÜLLER, I.:
Grundzüge der Thermodynamik mit historischen Anmerkung
Springer Verlag, (2001)
- 72 PARASHOS, P., MESSER, H. H.:
Questionnaire survey on the use of rotary nickel-titanium endodontic instruments by Australian dentists.
Aust Dent J 37: 249-259 (2004)
- 73 PASHLEY, D. H.:
Smear layer: physiological considerations.
Oper Dent Suppl 3: 13-29 (1984)

- 74 PASHLEY, D. H.:
Smear layer: overview of structure and function.
Proc Finn Dent Soc 88: 215-224 (1992)
- 75 PASSARINHO-NETO, J. G., MARCHESAN, M. A., FERREIRA, R. B.,
SILVA, R. G., SILVA-SOUSA, Y. T., SOUSA-NETO, M. D.:
In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary
instrumentation coupled with ultrasonic irrigation.
Aust Dent J 32: 123-128 (2006)
- 76 PEREZ, F., CALAS, P., DE FALQUEROLLES, A., MAURETTE, A.:
Migration of a Streptococcus sanguis strain through the root dentinal
tubules.
Int Endod J 19: 297-301 (1993)
- 77 PEREZ, F., ROCHD, T., LODTER, J. P., CALAS, P., MICHEL, G.:
In vitro study of the penetration of three bacterial strains into root dentine.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 76: 97-103 (1993)
- 78 PETERS, L. B., WESSELINK, P. R., BUIJS, J. F., VAN WINKELHOFF,
A. J.:
Viable bacteria in root dentinal tubulus of the apical periodontitis.
J Endod 27: 76-81 (2001)
- 79 PETERS, L. B., WESSELINK, P. R., PASCON, E.:
Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro.
Int Endod J 33: 28-36 (2000)
- 80 PETSCHULT, A., DOBLER, J.:
Großvolumige versus aktivierte Wurzelkanalspülung.
Dtsch Zahnärztl Z 46: 285-287 (1991)

- 81 RAM, Z.:
Effectiveness of root canal irrigation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 44: 306-312 (1977)
- 82 RIEDEL, E. JANIAK, C.:
Anorganische Chemie
de Gruyter, Berlin (2007)
- 83 ROSENFELD, E. F., JAMES, G. A., BURCH, B. S.:
Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite.
J Endod 4: 140-146 (2008)
- 84 ROY, R. A., AHMAD, M., CRUM, L. A.:
Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an
oscillating ultrasonic file.
Int Endod J 27: 197-207 (1994)
- 85 SABINS, R. A., JOHNSON, J. D., HELLSTEIN, J. W.:
A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic
passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals.
J Endod 29: 674-678 (2003)
- 86 SAUNDERS, W. P., SAUNDERS, E. M.:
Effect of noncutting tipped instruments on the quality of root canal
preparation using a modified double-flared technique.
J Endod 18: 32-36 (1992)
- 87 SCHÄFER, E.:
Wurzelkanalaufbereitungen.
Dtsch Zahnärztl Z 55: 730-740 (2000)

- 88 SCHÄFER, E.:
Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 92: 215-220 (2001)
- 89 SCHÄFER, E., BÖSSMANN, K.:
Antimicrobial effect of camphorated chloroxylonol (ED 84) in the treatment of infected root canals.
J Endod 25: 547-551 (2007)
- 90 SCHÄFER, E., DIEZ, C., HOPPE, W., TEPEL, J.:
Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth.
J Endod 28: 211-216 (2002)
- 91 SCHÄFER, E., LOHMANN, D.:
Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.
Int Endod J 35: 505-513 (2002)
- 92 SCHÄFER, E., LOHMANN, D.:
Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth.
Int Endod J 35: 514-521 (2002)
- 93 SCHROEDER, H. E., KREY, G., PREISIG, E.:
Alternsveränderungen in der pulpalen Dentinwandung in menschlichen Frontzähnen.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 1450-1461 (1990)

- 94 SEDGLEY, C. M., NAGEL, A. C., HALL, D., APPLGATE, B.:
Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria
inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro.
Int Endod J 38: 97-104 (2005)
- 95 SEN, B. H., WESSELINK, P. R., TÜRKÜN, M.:
The smear layer: a phenomenon in root canal therapy.
Int Endod J 28: 141-148 (1995)
- 96 SIQUEIRA, J. F. JR., ROCAS, I. N., FAVIERI, A., LIMA, K. C.:
Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal
after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium
hypochlorite.
J Endod 26: 331-334 (2000)
- 97 SIREN, E. K., HAAPASALO, M. P., RANTA, K., SALMI, P., KEROSUO,
E. N.:
Microbiological findings and clinical treatment procedures in endodontic
cases selected for microbiological investigation.
Int Endod J 30: 91-95 (1997)
- 98 SIRTES, G., WALTIMO, T., SCHÄTZLE, M., ZEHNDER, M.:
The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability,
pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy.
J Endod 31: 669-671 (2005)
- 99 SJÖRGEN, U., FIGDOR, D., PERSSON, S., SUNDQVIST, G.:
Influence of infection at the time of root filling on the outcome of
endodontic treatment of teeth with apical periodontitis.
Int Endod J 30: 297-306 (1997)

- 100 SJÖRGEN, U., SUNDQVIST, G.:
Bacteriologic evaluation of ultrasonic root canal instrumentation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 63: 366-370 (1987)
- 101 SPANGBERG, L., ENGSTRÖM, B., LANGE LAND, K.:
Biologic effects of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effect of
endodontic antiseptics in vitro.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 36: 856-871 (1973)
- 102 SPRATT, D. A., PRATTEN, J., WILSON, M., GULABIVALA, K.:
An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms
of root canal isolates.
Int Endod J 34: 300-307 (2001)
- 103 STOCK, C.:
Current status of the use of ultrasound in endodontics.
Int Dent J 41: 175-182 (1991)
- 104 SVEC, T. A., HARRISON, J. W.:
Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium
hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution.
J Endod 3: 49-53 (1977)
- 105 TORABINEJAD, M., HANDYSIDES, R., KHADEMI, A. A., BAKLAND, L.
K.:
Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94: 658-666 (2002)
- 106 TORABINEJAD, M., KHADEMI, A. A., BABAGOLI, J., CHO, Y.,
JOHNSON, W. B., BOZHILOV, K., KIM, J., SHABAHANG, S.:
A new solution for the removal of the smear layer.
J Endod 29: 170-175 (2003)

- 107 TREPANGNIER, C. M., MADDEN, R. M., LAZZARI, E. P.:
Quantitative study of sodium hypochlorite as an in vitro endodontic irrigant.
J Endod 3: 194-196 (1977)
- 108 TÜRKÜN, M., CENGİZ, T.:
The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness.
Int Endod J 30: 335-342 (1997)
- 109 VAHDATY, A., PITT FORD, T. R., WILSON, R. F.:
Efficacy of chlorhexidine in disinfecting dentinal tubules in vitro.
Endod Dent Traumatol 9: 243-248 (1993)
- 110 VAN DER SLUIS, L., GAMBARINI, G., WU, M. K., WESSELINK, P. R.:
The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation.
Int Endod J 39: 472-476 (2006)
- 111 VAN DER SLUIS, L., VERSLUIS, M., WU, M. K., WESSELINK, P. R.:
Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature.
Int Endod J 40: 415-426 (2007)
- 112 VAN DER SLUIS, L., WU, M. K., WESSELINK, P. R.:
A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation.
Int Endod J 38: 593-596 (2005)

- 113 VELVART, P.:
Effizienz der Wurzelkanalaufbereitung mit Ultraschall und unter
Verwendung verschiedener Spülmittel.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 97: 756-765 (1987)
- 114 WALMSLEY, A. D.:
Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation.
Int Endod J 20: 105-111 (1987)
- 115 WALTON, R. E.:
Current concepts of canal preparation.
Dent Clin North Am 36: 309-326 (1992)
- 116 WEIGER, R., BRÜCKNER, M., ELAYOUTI, A., LÖST, C.:
Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments
compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files.
Int Endod J 36: 483-490 (2003)
- 117 WEINE, F. S.:
Endodontic Therapy
Mosby, St. Louis (1982)
- 118 WEINE, F. S., KELLY, R. F., BRAY, K. E.:
Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape.
J Endod 2: 298-303 (1976)
- 119 WEINE, F. S., KELLY, R. F., LIO, P. J.:
The effect of preparation procedures on original canal shape and on
apical foramen shape.
J Endod 1: 255-262 (1975)
- 120 WELLER, R. N., BRADY, J. M., BERNIER, W. E.:
Efficacy of ultrasonic cleaning.
J Endod 6: 740-743 (1980)

- 121 WILLIAMS, S., GOLDMAN, M.:
Penetrability of the smeared layer by a strain of *Proteus vulgaris*.
J Endod 11: 385-389 (1985)
- 122 YESILSOY, C., WHITAKER, E., CLEVELAND, D., PHILLIPS, E.,
TROPE, M.:
Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal
irrigants.
J Endod 21: 513-515 (1995)

9 Anhang

Das folgende Kapitel liefert die Messergebnisse aller Untersuchungen in tabellarischer Form.

Zur besseren Übersicht werden die verwendeten Kürzungen noch einmal aufgelistet:

Versuchsgruppen mit ISO-Größe 25:

1a. Gruppe: Kerr-Feile indirekt ISO-Größe 25
2a. Gruppe: Kerr-Feile direkt ISO-Größe 25
3a. Gruppe Fingerspreader indirekt ISO-Größe 25
4a. Gruppe Fingerspreader direkt ISO-Größe 25

Versuchsgruppen mit ISO-Größe 15:

1b. Gruppe: Kerr-Feile indirekt ISO-Größe 15
2b. Gruppe: Kerr-Feile direkt ISO-Größe 15
3b. Gruppe Fingerspreader indirekt ISO-Größe 15
4b. Gruppe Fingerspreader direkt ISO-Größe 15
5b. Gruppe Fingerspreader direkt ISO-Größe 15, kontinuierlicher Spülung

Tab.9.1. Übersicht der Versuchsgruppen

Abkürzungen:

μm = Mikrometer

mm = Millimeter

mg = Milligramm

h = Stunde

NaOCl = Natriumhypochlorit

ISO = International Organization of Standardization

kHZ = Kilohertz

s = Sekunde

ΔT = Temperaturdifferenz

$^{\circ}\text{C}$ = Grad Celsius

% = Prozent

t = Zeit

T = Temperatur

T-max = Temperaturmaximum

Fa. = Firma

J = Joule

U/min = Umdrehung pro Minute

Anhang I: Materialliste

- Mat.1 Thymollösung 0,1 % Art. 89330 Ch.B. 1136091-50905021,
Sigma-Aldrich Chemie GmbH 89555 Steinheim, (D)
- Mat.2 S204SD Grazioler Scaler, Hu-Friedy, 69171 Leimen, (D)
- Mat.3 Kugeldiamant ISO-Größe 018, Art. 6801314018, Ch.B. 238116,
Komet GEBR. BRASSLER GmbH & Co. KG, 32657 Lemgo, (D)
- Mat.4 Winkelstück Typ 24 LS KaVo, 88400 Biberbach, (D)
- Mat.5 Rosenbohrer ISO-Größe 012, Art. H1S204012 Ch.B. 753680
Komet GEBR. BRASSLER GmbH & Co. KG, 32657 Lemgo, (D)
- Mat.6 Winkelstück Typ 20 LN KaVo, 88400 Biberbach, (D)
- Mat.7 Diamantschleifkörper Konus 220 Spitze ohne Diamant, ISO-
Größe 014, Orbis Dental Pluradent, 22083 Hamburg, (D)
- Mat.8 Exstirpationsnadel ISO-Größe 15, Art. 0333, Ch. B. 0303310252,
VDW GmbH, 81709 München, (D)
- Mat.9 Kerr-Files ISO-Größe 10 25mm, Art. 0353025227, Ch.B.
0608001786, VDW GmbH, 81709 München, (D)
- Mat.10 Kerr-Files ISO-Größe 15 25mm, Art. 0353025227, Ch.B.
0607001298, VDW GmbH, 81709 München, (D)
- Mat.11 NaOCl 5%, Artikel.Nr. 9062.3, Carl Roth GmbH, 76185 Karlsruhe,
(D)
- Mat.12 Gates-Glidden Bohrer I, Art. 330204070 Ch.B.679336, VDW
GmbH, 81709 München, (D)
- Mat.13 Gates-Glidden Bohrer II, Art. 330204090 Ch.B.689580, VDW
GmbH, 81709 München, (D)
- Mat.14 Gates-Glidden Bohrer III, Art. 330204110, Ch.B. 040503, VDW
GmbH, 81709 München, (D)
- Mat.15 Plexiglasbehälter, Greiner Labortechnik, 42719 Solingen, (D)
- Mat.16 E-Master, VDW GmbH 81709 München (D)

Anhang

Mat.17	Flex-Master Files ISO-Größe 02/15, Ch. B. 0602310376, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.18	Flex-Master Files ISO-Größe 02/20, Ch. B. 0607310408, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.19	Flex-Master Files ISO-Größe 02/25, Ch. B. 0611310435, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.20	Flex-Master Files ISO-Größe 02/30, Ch. B. 0610310429, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.21	Flex-Master Files ISO-Größe 02/35, Ch. B. 0610310433, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.22	Flex-Master Files ISO-Größe 02/40, Ch. B. 0408310296, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.23	Flex-Master Files ISO-Größe 02/45, Ch. B. 0405310287, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.24	Flex-Master Files ISO-Größe 02/50, Ch. B. 0701310448, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.25	Flex-Master Files ISO-Größe 02/60, Ch. B. 0607310408, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.26	Kugeldiamant ISO-Größe 012, Art. 6801314012, Ch.B. 335257 Komet GEBR. BRASSLER GmbH & Co. KG, 32657 Lemgo, (D)
Mat.27	Digitales Röntgen: In eXam, ID.Nr: L2013795, KaVo, 88400 Biberbach, (D)
Mat.28	Fingerspreader ISO-Größe 25, Ch.B. 0702001311, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.29	Dental Wax, Beauty Pink X. Hard, Ch. B. 12780304, Thompson Dental Manufacturing Company Inc, Missoula MT 59801, (USA)
Mat.30	Fingerspreader ISO-Größe 15, Ch.B. 0308000611, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.31	Novo Papierspitzen ISO-Größe 60, Art. 340060, Ch. B.129913 , Roeko GmbH & Co. KG, 89122 Langenau, (D)
Mat.32	Feinwaage, Art. Mettler H20T, Ch.B. 388602, Mettler Toledo GmbH, 35396 Giessen, (D)

Anhang

Mat.33	Trennscheibe, Art. 806104355514, Ch. B. 153226, Komet, 4810 Gmunden, (A)
Mat.34	Le Cron Modellierinstrument, Art. 13556, Pluradent, 63067 Offenbach, (D)
Mat.35	Guttapercha-Stifte ISO-Größe 80, Art. A022C, Ch. B. 030200, Dentsply/Maillefer GmbH, 1338 Ballaigues, (CH)
Mat.36	Hartgips-Blau Moldano, Art. 65113526, Heraeus Kulzer, 63450 Hanau, (D)
Mat.37	Färbekästen nach Schiefferdecker, Art. 190031600, Labor Brand MBT GmbH, 35392 Giessen, (D)
Mat.38	Schüttelwasserbad 1083/1086, GFL (Gesellschaft für Labortechnik mbH, 30938 Burgwedel, (D)
Mat.39	Thermoelement Model 2700 DMM, Seriennummer: 0786151, Keithley Instruments, (USA)
Mat.40	PC 6037 Abt. 04 Seriennummer: M2k07002
Mat.41	Piezon Master 400, EMS dental GmbH (CH)
Mat.42	Halteelement, Stativplatte DIN 12892 Bochem Art. 310505002 + Stativklammern aus 18/8 Stahl, Backen gerade/eckig, Art. 310505407, Labor Brand MBT GmbH, 35392 Giessen, (D)
Mat.43	Kerr-Files ISO-Größe 15 25mm, Art. 0353025227, Ch.B. 0607001298, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.44	Kerr-Files ISO-Größe 25 25mm, Art. 0353025227, Ch.B. 0607001298, VDW GmbH, 81709 München, (D)
Mat.45	Kerr-Files ISO-Größe 15/ ISO-Größe 25 zum Einspannen, Ch.B. 967611, EMS dental GmbH, (CH)
Mat.46	Scaleransatz
Mat.47	Feilenhalter 90 Grad für Piezon Master
Mat.48	Monoject Kendall, Ch.B. 1100606159, Kendall Healthcare Products Company, (UK)
Mat.49	Endo-Einwegkanüle mit abgerundetem Ende nach Dr. Buquet, Ch.B. 06C08, Vedefar, 1700 Dilbeek, (B)

Anhang II: Rohdaten der Gruppe 1a

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	37,58	37,61	34,21	33,01	3,37	4,6	97	158
2	41,11	37,55	35,2	33,86	5,91	3,69	79	174
3	37,12	40,47	36,24	33,54	0,88	6,93	147	127
4	43,85	40,82	34,99	34,31	8,86	6,51	77	78
5	37,19	39,18	35,44	30,91	1,75	8,27	177	179
6	37,42	41,44	35,23	32,14	2,19	9,3	179	122
7	41,87	40,04	34,59	35,08	7,28	4,96	175	104
8	38,97	43,61	35,14	35,1	3,83	8,51	136	156
9	38,66	40,93	36,38	34,49	2,28	6,44	126	180
10	39,14	40,06	35,38	34,25	3,76	5,81	143	136
11	43,88	45,73	35,03	34,27	8,85	11,46	37	152
12	36,98	39,13	34,73	33,67	2,25	5,46	136	177
13	40,12	52,48	35,37	31,62	4,75	20,86	73	102
14	44,84	44,58	35,01	32,78	9,83	11,8	154	157
15	38,64	46,93	34,34	32,09	4,3	14,84	134	128
16	44,27	48,85	34,68	33,67	9,59	15,18	94	114
17	43,45	38,86	34,7	34,29	8,75	4,57	157	44
18	37,77	38,73	35,37	34,34	2,4	4,39	96	180
19	40,66	41,2	34,63	34,26	6,03	6,94	43	86
20	40,25	40,68	35,19	33,56	5,06	7,12	179	172
21	37,12	36,68	34,2	29,95	2,92	6,73	180	174
22	39,6	40,51	36	33,54	3,6	6,97	173	162
23	37,14	39,36	35,9	35,12	1,24	4,24	144	173
24	37,7	39,16	36,41	34,95	1,29	4,21	180	74

Tab 9.2: Die Rohdaten von der Gruppe 1a (Kerr- Feile indirekt ISO-Größe 25). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang III: Rohdaten der Gruppe 1b

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	38,97	39,19	35,51	34,15	3,46	5,04	157	145
2	42,58	43,93	34,86	32,33	7,72	11,6	120	112
3	37,59	42,8	34,17	32,12	3,42	10,68	83	153
4	38,98	41,3	34,5	33,99	4,48	7,31	57	180
5	38,04	48,97	35,93	30,91	2,11	18,06	39	55
6	41,63	42,97	34,94	34,16	6,69	8,81	108	96
7	41,68	40,9	35,66	35,73	6,02	5,17	155	162
8	37,96	41,57	34,32	34,28	3,64	7,29	170	102
9	38,08	39,52	34,55	35,38	3,53	4,14	125	146
10	37,72	41,32	35,8	33,76	1,92	7,56	163	169
11	39,28	39,98	35,4	34,22	3,88	5,76	57	57
12	36,84	37,14	35,12	34,38	1,72	2,76	180	172
13	38,79	44,78	35,21	32,56	3,58	12,22	178	90
14	39,45	41,62	35,46	34,11	3,99	7,51	86	85
15	40,21	45,22	33,23	32,96	6,98	12,26	110	134
16	42,63	42,03	34,39	33,46	8,24	8,57	151	54
17	40,05	40,88	35,89	33,1	4,16	7,78	89	81
18	40	41,15	35,72	33,7	4,28	7,45	178	180
19	40,78	44,45	34,23	31,85	6,55	12,6	144	174
20	40,94	41,54	35,15	33,45	5,79	8,09	98	161
21	40,2	44,67	35,56	33,54	4,64	11,13	150	85
22	43,29	43,31	35,63	32,86	7,66	10,45	73	78
23	41,92	47,43	34,59	33,4	7,33	14,03	120	171
24	44,76	45,18	35,06	34,11	9,7	11,07	136	140

Tab 9.3: Die Rohdaten von der Gruppe 1b (Kerr- Feile indirekt ISO-Größe 15). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang IV: Rohdaten der Gruppe 2a

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	36,82	37,44	34,32	32,91	2,5	4,53	172	123
2	38,28	38,75	35,86	33,59	2,42	5,16	134	81
3	37,4	46,4	35,3	32,44	2,1	13,96	144	16
4	41,99	38,79	34,64	34,15	7,35	4,64	29	154
5	36,98	37,53	36,11	32,52	0,87	5,01	170	176
6	38,11	38,66	34,12	31,82	3,99	6,84	143	76
7	38,81	38,47	34,79	35,11	4,02	3,36	67	180
8	38,15	39,44	35,38	35,11	2,77	4,33	167	161
9	41,83	39,33	35,37	33,37	6,46	5,96	172	98
10	42,41	40	35,43	34,39	6,98	5,61	22	161
11	39,54	39,55	35,58	34,34	3,96	5,21	156	64
12	38,29	42,57	34,91	33,61	3,38	8,96	19	46
13	38,7	47,74	35,74	32,67	2,96	15,07	102	54
14	37,59	44,31	33,65	32,81	3,94	11,5	179	39
15	38,26	44,75	33,77	32,07	4,49	12,68	15	121
16	37,47	39,21	35,05	33,26	2,42	5,95	111	125
17	43,91	42,34	34,88	34,18	9,03	8,16	88	26
18	37,65	40,07	36,32	34,64	1,33	5,43	86	168
19	37,6	38,71	35,6	35,31	2	3,4	168	138
20	40,25	38,54	35,58	33,58	4,67	4,96	45	26
21	42,08	39,64	36,28	33,81	5,8	5,83	23	14
22	37,19	37,6	35,73	31,77	1,46	5,83	26	23
23	37,53	39,45	35,34	33,64	2,19	5,81	75	157
24	36,95	41,55	36,28	34,22	0,67	7,33	92	21

Tab 9.4: Die Rohdaten von der Gruppe 2a (Kerr- Feile direkt ISO-Größe 25). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang V: Rohdatender Gruppe 2b

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	39,58	40,25	35,92	34,24	3,66	6,01	18	59
2	42,71	46,63	34,92	34,24	7,79	12,39	149	147
3	36,82	41,29	35,33	33,7	1,49	7,59	154	39
4	38,2	39,85	34,74	34,34	3,46	5,51	21	158
5	37,56	42,85	36,09	31,71	1,47	11,14	43	178
6	38,56	37,97	34,31	33,87	4,25	4,1	86	78
7	38,48	38,48	34,33	34,72	4,15	3,76	23	29
8	38,19	43,11	34,94	35,04	3,25	8,07	54	33
9	38,47	37,16	34,84	34,95	3,63	2,21	149	160
10	37,34	41,69	35,33	32,56	2,01	9,13	97	94
11	38,34	41,59	34,34	33,03	4	8,56	19	112
12	37,57	43,17	35,09	34,35	2,48	8,82	160	108
13	37,56	43,56	35,3	32,74	2,26	10,82	123	171
14	38,3	43,39	34,91	33,05	3,39	10,34	159	167
15	39,73	40,63	31,59	31,49	8,14	9,14	180	91
16	38,02	42,37	34,69	33,75	3,33	8,62	63	156
17	40,4	44,43	34,85	32,84	5,55	11,59	169	137
18	36,91	40,07	34,56	31,94	2,35	8,13	99	76
19	37,27	41,58	34,02	32,09	3,25	9,49	165	171
20	40,12	42,44	34,38	32,61	5,74	9,83	178	172
21	37,8	39,11	34,45	32,36	3,35	6,75	120	180
22	39,53	37,95	34,27	31,84	5,26	6,11	93	124
23	41,05	39,6	34,37	33,04	6,68	6,56	145	74
24	40,3	44,93	34,85	34,05	5,45	10,88	41	93

Tab 9.5: Die Rohdaten von der Gruppe 2b (Kerr- Feile direkt ISO-Größe 15). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang VI: Rohdaten der Gruppe 3a

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	37,21	37,4	34,89	33,66	2,32	3,74	149	176
2	36,94	36,58	34,24	32,65	2,7	3,93	142	124
3	39,77	47,12	36,45	34,68	3,32	12,44	134	105
4	40,25	43,7	34,46	33,94	5,79	9,76	125	132
5	37,3	38,7	35,83	33,24	1,47	5,46	162	147
6	41,02	44,14	34,81	32,74	6,21	11,4	165	132
7	41,11	40,3	34,19	34,85	6,92	5,45	170	163
8	38,66	41,98	35,15	35,1	3,51	6,88	152	71
9	43,84	41,75	35,1	34,15	8,74	7,6	149	165
10	39,08	39,97	35,49	34,98	3,59	4,99	75	175
11	42,15	40,86	35,03	34,13	7,12	6,73	119	117
12	38,6	39,99	35,78	34,7	2,82	5,29	151	110
13	39,03	44,38	35,08	32,22	3,95	12,16	178	178
14	38,57	40,98	34,31	33,22	4,26	7,76	54	132
15	39,42	44,76	34,08	32,5	5,34	12,26	142	143
16	41,48	43,67	34,55	33,59	6,93	10,08	44	79
17	41,6	46,09	32,83	34,29	8,77	11,8	78	81
18	38,45	40,27	36,3	35,02	2,15	5,25	179	167
19	38,44	41,37	35,49	35,4	2,95	5,97	128	89
20	43,64	42,23	34,72	32,79	8,92	9,44	180	123
21	36,7	35,7	35,87	34,29	0,83	1,41	52	165
22	36,74	36,87	35,83	32,19	0,91	4,68	90	165
23	36,99	38,01	35,65	33,45	1,34	4,56	132	93
24	37,08	37,71	36,39	34,04	0,69	3,67	165	179

Tab 9.6: Die Rohdaten von der Gruppe 3a (Fingerspreader indirekt ISO-Größe 25). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang VII: Rohdaten der Gruppe 3b

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	38,55	40,98	35,86	34,41	2,69	6,57	147	107
2	38,32	42,46	34,85	33,18	3,47	9,28	24	39
3	40,07	47,74	35,28	33,75	4,79	13,99	171	117
4	38,25	44,59	34,78	34,53	3,47	10,06	159	148
5	37,1	46,7	35,87	31,54	1,23	15,16	180	131
6	40,03	39,7	34,64	34,1	5,39	5,6	170	170
7	45,39	43,79	34,07	34,79	11,32	9	82	180
8	37,75	42,99	34,73	34,83	3,02	8,16	1801	80
9	39,29	40,46	35,1	35,09	4,19	5,37	102	116
10	37,38	40,64	35,8	33,3	1,58	7,34	137	143
11	39,54	39,36	35,26	34,15	4,28	5,21	92	180
12	37,03	40,68	35,24	34,52	1,79	6,16	169	56
13	37,85	41,89	35,89	34,44	1,96	7,45	137	139
14	38,89	45,62	34,32	32,48	4,57	13,14	160	97
15	38,37	41,88	32,89	32,71	5,48	9,17	127	180
16	42,46	45,93	34,34	33,46	8,12	12,47	45	97
17	38,87	46,19	35,75	32,49	3,12	13,7	171	107
18	41,97	44,54	34,58	31,8	7,39	12,74	162	174
19	40,97	48,25	34,48	32,15	6,49	16,1	88	136
20	43,38	44,15	34,8	33,2	8,58	10,95	147	154
21	38,99	39,03	34,9	33,78	4,09	5,25	151	78
22	41,16	40,17	35,32	33,82	5,84	6,35	146	162
23	41,81	45,91	34,74	33,51	7,07	12,4	129	157
24	38,91	43,79	35,04	34,07	3,87	9,72	167	171

Tab 9.7: Die Rohdaten von der Gruppe 3b (Fingerspreader indirekt ISO-Größe 15). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang VIII: Rohdaten der Gruppe 4a

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	38,13	41,82	35,52	33,33	2,61	8,49	136	121
2	38,9	37,16	34,98	33,09	3,92	4,07	20	76
3	40,82	47,17	36,45	34,68	4,37	12,49	6	102
4	42,3	38,9	34,74	34,1	7,56	4,8	74	107
5	38,25	45,7	36,29	32,77	1,96	12,93	68	135
6	43,16	46,48	35,5	33,12	7,66	13,36	158	149
7	42,6	40,68	34,88	35,25	7,72	5,43	39	169
8	38,87	41,96	34,86	34,9	4,01	7,06	69	180
9	47,78	39,58	33,8	33,11	13,98	6,47	13	150
10	37,81	52,81	34,92	31,82	2,89	20,99	180	172
11	38,38	42,34	34,87	33,56	3,51	8,78	147	146
12	36,72	41,96	32,68	32,22	4,04	9,74	163	60
13	44,41	50,3	35,62	31,16	8,79	19,14	83	130
14	37,66	47,19	35,35	32,95	2,31	14,24	174	34
15	38,15	52,51	36,24	35,26	1,91	17,25	140	117
16	43,08	47,74	34,77	33,2	8,31	14,54	49	177
17	40,46	44,91	35,82	34,87	4,64	10,04	179	172
18	38,56	42,59	35,99	34,86	2,57	7,73	118	40
19	37,3	39	35,6	35,37	1,7	3,63	116	177
20	43,92	40,72	34,64	31,8	9,28	8,92	81	180
21	38,38	39,6	35,19	30,51	3,19	9,09	30	58
22	48,28	49,62	35,79	31,25	12,49	18,37	20	135
23	37,13	43,7	35,3	33,97	1,83	9,73	124	36
24	36,8	40,2	34,67	32,31	2,13	7,89	180	29

Tab 9.8: Die Rohdaten von der Gruppe 4a (Fingerspreader direkt ISO-Größe 25). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang IX: Rohdaten der Gruppe 4b

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	38,66	39,25	35,37	33,8	3,29	5,45	179	177
2	41,19	42,9	34,79	32,75	6,4	10,15	14	19
3	38,44	47,99	35,23	33,04	3,21	14,95	23	72
4	42,17	38,78	34,77	34,44	7,4	4,34	30	88
5	37,42	47,05	35,46	32,58	1,96	14,47	55	43
6	38,64	37,66	34,84	34,33	3,8	3,33	23	25
7	39,2	38,58	35,11	35,11	4,09	3,47	21	153
8	36,81	38,79	34,66	34,53	2,15	4,26	135	120
9	39,44	38,76	34,28	33,96	5,16	4,8	119	180
10	38,54	44,38	35,14	32,67	3,4	11,71	48	79
11	39,08	37,65	35,35	34,27	3,73	3,38	174	180
12	37,08	39,38	33,87	33,61	3,21	5,77	180	180
13	40,68	44,71	35,52	32,07	5,16	12,64	54	120
14	37,55	41,41	34,37	32,91	3,18	8,5	12	41
15	37,75	44,71	33,2	33,18	4,55	11,53	146	118
16	36,94	39,53	34,84	33,85	2,1	5,68	162	161
17	40,79	45,93	36,15	32,57	4,64	13,36	32	126
18	36,69	41,49	34,14	31,57	2,55	9,92	175	170
19	38,6	43	33,4	31,6	5,2	11,4	171	166
20	38	45,25	33,46	30,66	4,54	14,59	37	169
21	41,14	38,98	34,65	33,25	6,49	5,73	179	180
22	40,15	38,58	34,76	32,06	5,39	6,52	106	95
23	40,08	41,81	34,11	32,56	5,97	9,25	60	59
24	36,98	41,3	34,14	33,16	2,84	8,14	180	35

Tab 9.9: Die Rohdaten von der Gruppe 4b (Fingerspreader direkt ISO-Größe 15). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, die Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang X: Rohdaten der kontinuierlichen Spülung

	Temperatur- maximum (°C)		Anfangs- temperatur (°C)		ΔT (°C)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	34,56	31,10	36,10	35,50	1,54	4,40
2	35,57	32,22	36,20	35,70	0,63	3,48
3	36,25	34,85	36,10	35,80	-0,15	0,95
4	35,73	30,32	35,90	35,40	0,17	5,08
5	36,23	35,75	36,45	35,95	0,22	0,20
6	37,07	35,99	35,95	35,40	-1,12	-0,59
7	35,08	34,88	35,90	35,10	0,82	0,22
8	35,90	33,95	36,60	36,05	0,70	2,10
9	36,08	34,18	36,30	35,90	0,22	1,72
10	35,66	34,08	36,30	35,25	0,64	1,17
11	35,88	34,17	36,40	35,70	0,52	1,53
12	35,94	37,11	36,20	35,70	0,26	-1,41
13	35,80	33,52	36,50	36,00	0,70	2,48
14	35,09	34,29	35,90	35,30	0,81	1,01
15	34,87	31,70	35,80	35,20	0,93	3,50
16	35,00	34,06	35,80	35,20	0,80	1,14
17	35,49	34,62	36,50	35,90	1,01	1,28
18	36,01	34,27	36,20	35,80	0,19	1,53
19	36,67	37,66	35,70	35,20	-0,97	-2,46
20	35,43	34,04	36,00	35,30	0,57	1,26
21	35,63	34,54	36,10	35,60	0,47	1,06
22	35,45	29,35	35,90	35,10	0,45	5,75
23	36,05	33,53	36,00	35,10	-0,05	1,57
24	35,88	34,92	35,70	35,20	-0,18	0,28

Tab.9.10: In dieser Tabelle sind die Rohdaten von der Gruppe 5b (Fingerspreader direkt ISO-Größe 15). Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben von 1-24 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C in den jeweiligen Bereichen (apikal/koronal) sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen.

Anhang XI: Rohdaten der Volumenmessung

	Vorher trocken (g)	Nachher feucht (g)	Diff.(g)	Diff.* 1,01g/cm³ (ml)
1	4,195	4,245	0,049	0,050
2	4,116	4,146	0,030	0,030
3	4,136	4,174	0,038	0,038
4	4,115	4,157	0,043	0,043
5	4,210	4,256	0,046	0,047
6	4,115	4,154	0,039	0,039
7	4,127	4,170	0,044	0,044
8	4,152	4,190	0,038	0,039
9	4,113	4,150	0,037	0,037
10	4,114	4,143	0,030	0,030
11	4,110	4,147	0,036	0,037
12	4,214	4,239	0,025	0,025
13	4,141	4,175	0,034	0,034
14	4,146	4,178	0,032	0,032
15	4,120	4,145	0,025	0,025
16	4,199	4,233	0,034	0,034
17	4,107	4,131	0,024	0,024
18	4,197	4,218	0,021	0,021
19	4,178	4,201	0,023	0,024
20	4,137	4,160	0,023	0,023
21	4,105	4,135	0,030	0,030
22	4,197	4,222	0,025	0,026
23	4,114	4,141	0,027	0,027
24	4,195	4,231	0,036	0,037

Tab. 9.11: Die Tabelle zeigt den Weg zur Ausrechnung des Volumens der jeweiligen Probe. In der Spalte (Vorher trocken) steht das Trockengewicht der 10 Papierspitzen zu den dazu gehörigen Proben gewogen; die Spalte (Nachher feucht) steht für das Nassgewicht der Papierspitzen; Spalte (Diff.) steht für den Differenz der ersten beiden Spalten und die Spalte (Diff*1,01/cm³) steht für das errechnete Volumen der Proben 1-24.

Anhang

Anhang XII: Rohdaten der Erkennungsmerkmale der Proben

	Rö 2 (Kontrolle)	AL (mm)	Anzahl an Kanälen	Merkmale	Aufstellung
1	18	20,5	2	mod AgF	Gipsblock 1
2	17	20,5	1	F1 Lab	Gipsblock 1
3	16	21	1	F3 lab	Gipsblock 1
4	15	19,5	1	o.B	Gipsblock 1
5	14	20	2	F2 AgF	Gipsblock 2
6	13	20	1	o.B.	Gipsblock 2
7	12	20,5	1	F2 Ketac	Gipsblock 2
8	11	21,5	1	F1 mesial	Gipsblock 2
9	21	21	1	o.B breit	Gipsblock 3
10	22	21	1	o.B.	Gipsblock 3
11	23	21,5	1	o.B schmal	Gipsblock 3
12	24	21,5	1	Erosion	Gipsblock 3
13	25	21	1	o.B.	Gipsblock 4
14	26	21	2	F2 AgF gross	Gipsblock 4
15	27	21,5	1	F2 Agf klein	Gipsblock 4
16	28	20,5	1	F1 mesial Ketac	Gipsblock 4
17	38	20	1	F3 mod Ketac	Gipsblock 5
18	37	21	1	F2 mo AgF	Gipsblock 5
19	36	21	1	o.B.	Gipsblock 5
20	35	21,5	1	o.B. geschliffen	Gipsblock 5
21	34	21,5	1	o.B. rötlich	Gipsblock 6
22	33	20	2	F3 mod AgF	Gipsblock 6
23	32	19,5	1	o.B.	Gipsblock 6
24	31	20	1	F2 od Ketac	Gipsblock 6

Tab.9.12: In dieser Tabelle werden die Röntgenaufnahmen mit der gespeicherten Nummer, die Arbeitslänge (AL), die Anzahl der Kanäle pro Zahn und die typischen Erkennungsmerkmale und die dazu gehörigen Gipsblockzuordnung erkennbar, die für die Wiedererkennung der Proben, damit auch das Vertauschen der Proben ausgeschlossen ist.

Die Abkürzungen und ihre Bedeutung: o.B.: ohne Befund,

Füllungsflächen: o (okklusal), od (okklusal-distal), mod (mesial-okklusal-distal), lab (labial), F1: einflächige Füllung, F2: zweiflächige Füllung, F3: dreiflächige Füllung. Füllungsmaterialien: Ketac: Zementfüllung, AgF: Amalgamfüllung.

Andere klinische Merkmale: breit: die Krone ist deutlich groß, schmal: die Krone ist klein, rötlich, der Zahn hat eine rötliche Färbung, Erosionen: der Zahn zeigt Zahnhartsubstanzverlust, die säurebedingt ist.

Anhang XIII: Die festgelegte Messreihenfolge

	Reihenfolge			
Zahn	1.	2.	3.	4.
1	d	a	b	c
2	c	a	d	b
3	a	b	c	d
4	c	d	a	b
5	d	b	c	a
6	a	c	b	d
7	a	d	c	b
8	c	b	d	a
9	b	a	d	c
10	d	c	a	b
11	a	b	d	c
12	b	d	c	a
13	d	a	c	b
14	a	d	b	c
15	c	a	b	d
16	b	c	a	d
17	d	b	a	c
18	c	b	a	d
19	c	d	b	a
20	b	d	a	c
21	a	c	d	b
22	d	c	b	a
23	b	c	d	a
24	b	a	c	d

A	Kerr-Feile direkt
B	Fingerspreader direkt
C	Kerr-Feile indirekt
D	Fingerspreader indirekt

Tab.9.13: In dieser Tabelle wird die Reihenfolge der angewandten Methode, die jeweils zu a-d zugeordnet sind, für die jeweilige festgelegte Probe zu entnehmen.

Anhang XIV: Rohdaten des 1. Vorversuches (n=10)

Gruppe 1a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	38,60	45,10	36,50	36,50	2,10	8,60	90	180
2	41,10	42,25	33,50	33,50	7,60	8,75	60	60
3	39,00	41,00	30,00	27,60	9,00	13,40	90	180
4	37,60	42,10	35,30	32,50	2,30	9,60	125	180
5	37,50	42,50	35,50	32,75	2,00	9,75	90	180
6	36,70	37,60	35,70	33,80	1,00	3,80	160	150
7	37,50	40,10	35,25	32,50	2,25	7,60	100	100
8	37,50	40,60	35,25	32,60	2,25	8,00	180	180
9	37,40	41,75	33,20	32,70	4,20	9,05	180	180
10	37,30	42,60	35,30	32,00	2,00	10,60	180	180

Gruppe 2a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	38,50	38,50	34,70	32,70	3,80	5,80	125	160
2	42,50	40,10	35,00	33,00	7,50	7,10	50	60
3	38,40	39,60	35,60	34,10	2,80	5,50	20	110
4	38,60	40,80	35,60	33,00	3,00	7,80	25	180
5	40,00	39,60	34,70	32,60	5,30	7,00	35	180
6	40,80	40,60	37,40	37,30	3,40	3,30	180	80
7	40,80	41,30	35,40	33,20	5,40	8,10	170	120
8	42,20	41,70	35,50	33,20	6,70	8,50	180	60
9	40,50	41,75	35,40	31,50	5,10	10,25	180	60
10	39,90	40,50	35,50	32,20	4,40	8,30	80	40

Gruppe 3a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	37,80	45,00	34,50	32,50	3,30	12,50	125	160
2	37,80	51,50	35,30	32,50	2,50	19,00	180	180
3	37,20	44,00	34,80	32,70	2,40	11,30	180	180
4	37,30	43,75	35,10	32,00	2,20	11,75	180	160
5	37,90	42,50	35,00	32,10	2,90	10,40	170	160
6	37,10	42,10	34,75	31,50	2,35	10,60	140	150
7	37,70	45,00	35,30	33,00	2,40	12,00	180	180
8	38,90	39,00	35,30	33,00	3,60	6,00	125	125
9	36,40	37,60	35,30	35,20	1,10	2,40	120	120
10	37,00	42,50	35,80	32,25	1,20	10,25	150	150

Gruppe 4a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	37,40	40,30	34,60	31,75	2,80	8,55	180	140
2	37,00	40,00	35,70	32,50	1,30	7,50	180	60
3	37,30	41,00	34,90	32,00	2,40	9,00	180	90
4	37,10	38,70	35,60	31,90	1,50	6,80	140	180
5	37,00	39,70	35,50	33,40	1,50	6,30	100	180
6	37,10	42,00	35,10	32,70	2,00	9,30	90	160
7	37,25	43,00	35,60	32,00	1,65	11,00	180	110
8	37,20	41,50	34,60	31,10	2,60	10,40	180	80
9	36,80	40,20	35,60	32,50	1,20	7,70	110	50
10	37,00	38,50	34,80	32,00	2,20	6,50	180	40

Tab.9.14: Diese Tabelle zeigt die Rohdaten des 1. Vorversuches. Die Rohdaten sind von den Gruppen 1a-4a. Hier ist eine Probe je 10-mal untersucht. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C auf zwei Ebenen sind auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

Anhang

Anhang XV: Rohdaten des 2. Vorversuches

Gruppe 1a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	41	43,5	32	30	9	13,5	140	125
2	38,3	41,05	34,3	34,5	4	6,55	60	140
3	38,9	38,5	35,6	34	3,3	4,5	180	180
4	38,1	40,5	34,7	33,5	3,4	7	180	180
5	48,05	38,1	35,5	34,8	12,55	3,3	180	100

Gruppe 2a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	43	41	34,7	30	8,3	11	100	100
2	37,5	42	32,8	29,5	4,7	12,5	180	180
3	37,9	38,5	35,2	34,1	2,7	4,4	180	180
4	37,6	39,7	34,3	33,7	3,3	6	20	20
5	38,5	41,1	32	30,9	6,5	10,2	90	180

Gruppe 3a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	51	42,3	34,5	30,5	16,5	11,8	60	120
2	37,5	42	32,5	33,5	5	8,5	160	100
3	45,7	40	35,1	33,7	10,6	6,3	60	140
4	48,1	43	35	33,2	13,1	9,8	60	60
5	42,5	41,3	34	32,5	8,5	8,8	90	180

Gruppe 4a

	Temperatur-maximum (°C)		Anfangstemperatur (°C)		ΔT (°C)		Erreichen von T.max (s)	
	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal	Apikal	Koronal
1	40,8	40,5	32,5	29,75	8,3	10,75	180	125
2	37,1	40,6	34,7	30,5	2,4	10,1	180	180
3	39,4	42	34,2	33,5	5,2	8,5	30	120
4	42,3	49,5	33,5	30	8,8	19,5	110	70
5	51,7	48,1	34,5	33,6	17,2	14,5	180	180

Tab.9.15: Diese Tabelle zeigt die Rohdaten des 2. Vorversuches. Die Rohdaten sind von der Gruppe 1a-4a. Auf dem linken Tabellenrand sind die Proben 1-5 aufgezählt. Das dazu gehörige Temperaturmaximum, Anfangstemperatur und die errechnete Temperaturdifferenz (ΔT) in °C sind in den beiden Bereichen auf der dazugehörigen Zeile zu entnehmen. Zusätzlich ist die Zeitangabe in Sekunden (s) für das Erreichen von Maximaltemperatur angegeben.

10 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Cengiz Koçkapan für die Überlassung des Dissertationsthemas, der mir auf meinem Weg alle Freiheiten und Unterstützung gewährte.

Ich möchte auch der gesamten Abteilung für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Gießen danken für die warme und mutgebende Unterstützung die mir entgegengebracht wurde.

Herrn Dr. Bödeker, dem Leiter der Arbeitsgruppe für Medizinische Statistik am Institut für Medizinische Informatik des Klinikums der Justus- Liebig- Universität Gießen sowie seinem Mitarbeiter. Herrn Pabst, danken für die tatkräftige Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Auch Frau Birgit Meier, unsere hilfsbereite MTA, Herrn Dr. Rainer Schmidt, ehemaliger Mitarbeiter der Abteilung, Herrn Harald Weigand, Mitarbeiter des Physikalisch-chemisches Instituts, und Herrn Heinrich Bethge danke ich sehr für die wissenschaftliche Zusammenarbeit und die Bereitstellung der Geräte.

Ein besonders warmer Dank gebührt Frau Dr. Nadine Schlüter, ohne die ich nicht dort stünde, wo ich heute bin. Ihre ständige fachliche und menschliche Unterstützung und das Vertrauen, das sie mir entgegenbrachte, haben mir sehr geholfen und mich immer wieder ermutigt, auch in schwierigen Situationen durchzuhalten und weiterzumachen.

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the
electronic version of the paper.**

édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

ISBN 3-8359-5483-0

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de



9 17 8 3 8 3 5 11 9 5 4 8 3 0